



Identificación de los datos del Proyecto

TÍTULO: EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL EN LAS ZONAS DE USO RESIDENCIAL UBICADAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA AVENIDA SAN PABLO. BARRIO DE LA ESTACIÓN (COSLADA).

AUTOR: JUAN RAMÓN RIERA SÁNCHEZ

PROGRAMA DE POSTGRADO OFICIAL: MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

TUTOR: JUAN SANCHO GIL

DIRECTOR:

TRIBUNAL:

PRESIDENTE: CONSTANTINO GIL GONZÁLEZ

VOCAL: LINO GARCÍA MORALES

VOCAL SECRETARIO: ANTONIO PEDRERO GONZÁLEZ

FECHA DE LECTURA: DICIEMBRE 2013

Resumen

El presente documento analiza y evalúa el ruido ambiental existente en las zonas de uso residencial ubicadas en el Barrio de “La Estación”, en el entorno de la Avenida San Pablo, pertenecientes al municipio de Coslada (Madrid).

La zona que contempla el proyecto es muy completa, ya que en ella están presentes diferentes tipos de ruido medioambiental (tráfico ferroviario, tráfico rodado, tráfico aeroportuario, ruido industrial de instalaciones, ruido de actividades, etc), donde las fuentes de ruido pueden manifestarse aisladas o en diversas combinaciones. Para evaluar el ruido total existente, se analiza por un lado el ruido residual de la zona de estudio, y por otro el ruido específico e intermitente asociado a sucesos aislados, como son el ruido de aviones y el ruido de trenes, donde se estudia individualmente la existencia de componentes de tonalidad, baja frecuencia e impulsividad.

Una vez obtenidos los niveles de ruido total y ruido residual en la zona objeto de estudio, el índice Nivel de presión sonora promedio L_{pm} de las muestras analizadas, estima correctamente los niveles obtenidos en el muestreo de larga duración.

En las medidas realizadas se detecta la existencia de componentes de tonalidad y baja frecuencia en los pasos de aviones y trenes registrados.

Se calculan los niveles sonoros existentes en la zona de estudio. Para ello se realiza una evaluación de los índices de ruido L_d , para el periodo día, y L_e , para el periodo tarde, utilizando como herramienta de cálculo el programa IMMI 6.3.1e.

Se realiza la validación del mapa de niveles sonoros obtenido con el IMMI 6.3.1e. Para ello se hace una comparación entre los niveles calculados con el modelo, y los niveles medidos “in situ” en los puntos de muestreo.

Por último se obtiene la incertidumbre en cada una de las medidas ejecutadas en una segunda campaña “in situ”, correspondientes a niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderado A ($L_{Aeq,5min}$), teniendo en cuenta las posibles desviaciones ocasionadas por el equipo de medida, condiciones meteorológicas, procedimiento de realización del ensayo, etc.

Summary

The present document analyzes and evaluates the environmental noise in the residential areas located at “La Estación” district, near the San Pablo Avenue, in the Coslada municipality (Madrid).

The area considered in this project is very complete, once it covers different types of environmental noise (railway traffic, vehicular traffic, airport traffic, industrial noise of building systems, activities noise, etc), where noise sources may appear isolated or under several combinations. In order to evaluate the existing total noise, on one hand it is analyzed the residual noise in the study area, and on the other hand it is analyzed the specific and intermittent noise associated to isolated occurrences, such as the noise of the aircrafts and the noise of the trains, where the existence of components of tonality, low frequency and impulsiveness is studied individually.

After obtaining the levels of total noise and residual noise in the target study area, the sound pressure level average index (L_{Pm}) of the analyzed samples estimates correctly the levels obtained in the sampling of long duration.

On what concerns the measures carried out, it is detected the existence of components of tonality and low frequency in the registered aircrafts and trains passage.

The sound levels of the study area are calculated. For that it is made a valuation of the L_d noise ratio, concerning the day period, and L_e , concerning the afternoon period. The calculation tool used is the IMMI 6.3.1e programme.

The validation of the map of sound levels obtained with the IMMI 6.3.1e is made. In order to get this validation, it is made a comparison between the levels calculated with the model and the levels measured “in situ” in the sampling points.

Finally the uncertainty is obtained in each one of the measurements made in a second sampling “in situ”, correspondent to equivalent A-weighted continuous sound pressure level ($L_{Aeq,5 \text{ min}}$), having in mind the possible deviations caused by the equipment of measure, meteorological conditions, essay’s execution procedures, etc.

Índice

Índice	i
Índice de figuras	v
Índice de tablas	ix
Índice de ecuaciones	xv
Resumen	xvi
Summary	xvii
1 Introducción	1
1.1. Introducción.	2
2 Fase 0: Descripción de la zona de estudio	5
2.1. Localización y ámbito de estudio	6
2.2. Usos del suelo y Planeamiento existente	8
2.3. Fuentes de ruido en el ámbito de estudio	10
2.3.1. Tráfico rodado: Avenida San Pablo	10
2.3.2. Tráfico rodado: Carretera M-21	12
2.3.3. Tráfico ferroviario: Líneas de Cercanías C1, C2, y C7a	16
2.3.4. Tráfico aeroportuario: Madrid – Barajas	17
2.3.5. Instalaciones o actividades industriales	20
2.4. Marco legislativo	21
2.4.1. Normativa comunitaria	21
2.4.2. RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN DE 6 DE AGOSTO DE 2003	22

2.4.3. Normativa estatal: Ley 37/2003	22
2.4.4. Normativa estatal: Real Decreto 1513/2005	23
2.4.5. Normativa estatal: Real Decreto 1367/2007	24
2.4.6. Normativa de aplicación al Proyecto	26
3 Fase 1: Análisis del escenario acústico actual	27
3.1. Metodología utilizada para la evaluación de niveles sonoros actuales	28
3.1.1. Consideraciones generales de la normativa	29
3.1.2. Consideraciones ambientales	42
3.2. Primera campaña de mediciones de los niveles sonoros	44
3.2.1. Planteamiento general	44
3.2.2. Plan de muestreo	44
3.2.3. Instrumentación utilizada	50
3.2.4. Volcado de datos	52
3.3. Resultados de las medidas	57
3.3.1. Caracterización del ruido de la zona	80
3.4. Distribuciones de frecuencias en clases. Pasos de aviones y trenes.	103
3.4.1. Histograma de frecuencias para el paso de aviones en periodo día	104
3.4.2. Histograma de frecuencias para el paso de aviones en periodo tarde	106
3.4.3. Histograma de frecuencias para el paso de trenes en periodo día	108
3.4.4. Histograma de frecuencias para el paso de trenes en periodo tarde	109
3.5. Evaluación del ruido de actividades industriales	111

3.6. Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual	117
3.7. Segunda campaña de mediciones. Comparación con la primera campaña.	119
3.8. Conclusiones	123
4 Fase 2: Estimación de los niveles existentes en la zona de estudio	126
4.1. Metodología utilizada	127
4.2. Software empleado	127
4.3. Preparación del modelo	128
4.4. Datos de entrada al modelo	133
4.5. Configuración del modelo	139
4.6. Estimación de los niveles sonoros existentes en la zona de estudio	141
5 Fase 3: Validación del mapa de niveles sonoros obtenido en la Fase 2	143
5.1. Validación del modelo con la campaña de medidas “in situ”. Plano H=1,5 m.	144
5.1.1. Ajuste del modelo: modificación de las velocidades de los vehículos en la Avenida San Pablo y del tráfico ferroviario	146
5.1.2. Ajuste del modelo: modificación del aforo de la Avenida San Pablo	148
5.1.3. Resultados de la validación en periodo tarde	151
5.2. Cálculo del modelo en Plano H=4 m. Periodo día.	151
5.2.1. Cálculo en periodo tarde	152
5.3. Aportación del ruido de aviones al modelo aceptado	154
5.3.1. Cálculo periodo día	155
5.3.2. Cálculo periodo tarde	156

6	Fase 4: Estimación de la incertidumbre en la medición de ruido ambiental	159
6.1.	Conceptos básicos	160
6.2.	Fuentes comunes de incertidumbre	161
6.3.	Procedimiento para estimar la incertidumbre de medida	161
6.4.	Estimación de la incertidumbre	162
6.4.1.	Incertidumbre debida a la instrumentación	163
6.4.2.	Incertidumbre debida a las condiciones de funcionamiento	166
6.4.3.	Incertidumbre debida a las condiciones meteorológicas y del terreno	175
6.4.4.	Incertidumbre debida al sonido residual	176
6.5.	Cálculo de la incertidumbre de la medida	184
7	Bibliografía	186
7.1.	Referencias bibliográficas	187

ANEJOS

ANEJO 1: Datos proporcionados por el CD ROM “Mapa de Tráfico 2011”.
Ministerio de Fomento (Dirección General de Tráfico).

ANEJO 2: Previsión de crecimiento del tráfico total interurbano en la red de
carreteras del estado. Ministerio de Fomento (Dirección General de Carreteras)

ANEJO 3: Horario de trenes proporcionado por fuentes oficiales (RENFE) para
las líneas de ferrocarril que afectan a la zona de estudio

ANEJO 4: Planos.

Índice de figuras

Figura 1.	Fuentes de ruido existentes en el ámbito de estudio	7
Figura 2.	Calificación de las zonas dentro del ámbito de estudio	8
Figura 3.	Tráfico rodado en la zona: Avda. San Pablo y M-21	11
Figura 4.	Cámaras fuera de servicio en la M-21	11
Figura 5.	Estación de aforo de la M-21 más próxima a la zona	13
Figura 6.	Intensidad media de tráfico en la M-21. Año 2011. Fuente: DGT	14
Figura 7.	Huella sonora del aeropuerto Madrid-Barajas. Año 2010. AENA	18
Figura 8.	Superposición de la Huella sonora sobre la zona de estudio georreferenciada. Isófona Roja (67 dB Día) e Isófona Morada (66 dB Día)	19
Figura 9.	Puntos de muestreo. Fuente: Google Map. Localización de los puntos de medida.	30
Figura 10.	Tráfico rodado en la Avda. San Pablo (Rotonda)	34
Figura 11.	Tráfico rodado en la Avda. San Pablo (Avenida)	34
Figura 12.	Tráfico ferroviario en el barrio de “La Estación”	35
Figura 13.	Tráfico aéreo en el barrio de “La Estación”	36
Figura 14.	Medida en punto P1	45
Figura 15.	Medida en punto P2	46
Figura 16.	Medida en punto P3	47
Figura 17.	Medida en punto P4	47
Figura 18.	Medida en punto P5	48
Figura 19.	Medida en punto P6	49

Figura 20. Medida en punto P7	50
Figura 21. Equipos utilizados: Sonómetro, trípode, estación meteorológica, calibrador, y anemómetro	52
Figura 22. Interfaz Software I	53
Figura 23. Ventana de transferencia de datos	53
Figura 24. Interfaz Software II	55
Figura 25. Interfaz Software III	55
Figura 26. Puntos estratégicos de muestreo	57
Figura 27. Medida de 15 minutos. Punto P1. Periodo día.	59
Figura 28. Medida de 15 minutos. Punto P2. Periodo día.	61
Figura 29. Medida de 15 minutos. Punto P3. Periodo día.	63
Figura 30. Medida de 15 minutos. Punto P4. Periodo día.	65
Figura 31. Medida de 15 minutos. Punto P5. Periodo día.	67
Figura 32. Medida de 15 minutos. Punto P6. Periodo día.	69
Figura 33. Medida de 15 minutos. Punto P7. Periodo día.	71
Figura 34. Medida de 15 minutos. Punto P1. Periodo tarde.	73
Figura 35. Medida de 15 minutos. Punto P5. Periodo tarde.	75
Figura 36. Medida de 15 minutos. Punto P6. Periodo tarde.	77
Figura 37. Medida de 15 minutos. Punto P7. Periodo tarde.	79
Figura 38. Histograma de frecuencias. Paso de aviones. Periodo día.	106
Figura 39. Histograma de frecuencias. Paso de aviones. Periodo tarde.	107
Figura 40. Histograma de frecuencias. Paso de trenes. Periodo día.	109

Figura 41.	Histograma de frecuencias. Paso de trenes. Periodo tarde.	111
Figura 42.	Instalaciones industriales cercanas a la zona residencial.	111
Figura 43.	Puntos de medida ubicados en perímetro externo a las instalaciones.	112
Figura 44.	Medida de 15 minutos. Punto P1_IND. Periodo día.	113
Figura 45.	Medida de 15 minutos. Punto P2_IND. Periodo día.	114
Figura 46.	Medida de 15 minutos. Punto F1_IND. Periodo tarde.	114
Figura 47.	Comparación entre niveles de ruido total y residual. Periodo día y tarde.	118
Figura 48.	Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual en cuatro muestras de 5 minutos. Periodo día.	121
Figura 49.	Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual en cuatro muestras de 5 minutos. Periodo tarde.	122
Figura 50.	Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual. Muestra de 15 minutos y muestras de 5 minutos. Periodo día.	122
Figura 51.	Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual. Muestra de 15 minutos y muestras de 5 minutos. Periodo tarde.	122
Figura 52.	Imagen georreferenciada de la zona de estudio con IBERPIX.	130
Figura 53.	Digitalización de la zona de estudio con Autocad 2007	131
Figura 54.	Vista de la digitalización de edificios e importación de altimetría	131
Figura 55.	Importación de todas las capas con IMMI 6.3.1e	132
Figura 56.	Grid de altitudes (m) para la zona de estudio	132
Figura 57.	Zoom del grid de altitudes (m) para la zona de estudio	133
Figura 58.	Cálculo de Ld a 1,5 m de altura. Modelo validado.	142



Figura 59. Cálculo de L_e a 1,5 m de altura. Modelo validado.

142

Índice de tablas

Tabla. I.	Alturas de los edificios ubicados en la zona de estudio.	10
Tabla. II.	Intensidad Media Horaria de la Avenida San Pablo.	12
Tabla. III.	Datos de la estación de aforo de la M-21 más próxima a la zona.	
Versión 2011. Ministerio de Fomento (DGT)		13
Tabla. IV.	Intensidad Media Diaria de la M-21. Año 2011. Fuente: DGT	14
Tabla. V.	Intensidad Media Diaria de la M-21. Año: 2013. Fuente: Previsión de crecimiento de fuentes oficiales (según hipótesis alta para el periodo 2011-2020)	15
Tabla. VI.	Áreas acústicas según la Ley del ruido 37/2003	23
Tabla. VII.	Objetivos de calidad acústica. Áreas urbanizadas existentes.	25
Tabla. VIII.	Valores límite de inmisión máximos. Infraestructuras ferroviarias y aeroportuarias.	25
Tabla. IX.	Valores límite de inmisión. Infraestructuras portuarias y actividades.	26
Tabla. X.	Parámetro de corrección K_t	40
Tabla. XI.	Parámetros de corrección K_r .	41
Tabla. XII.	Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$.Periodo día. Todas las fuentes funcionando.	85
Tabla. XIII.	Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$.Periodo tarde. Todas las fuentes funcionando.	85
Tabla. XIV.	Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$.Periodo día. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los $L_{Aeq}(5s)$ asociados a la huella acústica de cada paso.	85

Tabla. XV. Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$. Periodo tarde. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los $L_{Aeq}(5s)$ asociados a la huella acústica de cada paso. 86

Tabla. XVI. Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$. Periodo día. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los $L_{Aeq}(5s)$ asociados al L_{AE} práctico de cada paso. 86

Tabla. XVII. Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$. Periodo tarde. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los $L_{Aeq}(5s)$ asociados al L_{AE} práctico de cada paso. 86

Tabla. XVIII. Cálculo del L_{AE} (dBA) asociado a cada paso de avión. 93

Tabla. XIX. Cálculo del L_{AE} (dBA) asociado a cada paso de tren. 95

Tabla. XX. Determinación del parámetro K_t . Paso de aviones. 98

Tabla. XXI. Determinación del parámetro K_t . Paso de trenes. 99

Tabla. XXII. Determinación del parámetro K_f . Paso de aviones. 101

Tabla. XXIII. Determinación del parámetro K_f . Paso de trenes. 102

Tabla. XXIV. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de aviones. Periodo día. 105

Tabla. XXV. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de aviones. Periodo tarde. 107

Tabla. XXVI. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de trenes. Periodo día. 108

Tabla. XXVII. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de trenes. Periodo tarde. 110

Tabla. XXVIII. Resultados globales en puntos situados en el perímetro de las instalaciones 115

Tabla. XXIX. Niveles de presión sonora continuos equivalentes en puntos situados en uso industrial	116
Tabla. XXX. Niveles de evaluación en los puntos situados en uso industrial	116
Tabla. XXXI. Niveles de ruido total y ruido residual. Periodo día.	117
Tabla. XXXII. Niveles de ruido total y ruido residual. Periodo tarde.	118
Tabla. XXXIII. Niveles de ruido total en cuatro muestras de cinco minutos. Periodo día.	119
Tabla. XXXIV. Niveles de ruido total en cuatro muestras de cinco minutos. Periodo tarde	120
Tabla. XXXV. Niveles de ruido residual en cuatro muestras de cinco minutos. Periodo día	120
Tabla. XXXVI. Niveles de ruido residual en cuatro muestras de cinco minutos. Periodo tarde	121
Tabla. XXXVII. Niveles de presión sonora promedio. Ruido total y ruido residual. Periodo día.	124
Tabla. XXXVIII. Niveles de presión sonora promedio. Ruido total y ruido residual. Periodo tarde.	124
Tabla. XXXIX. Aforo (IMH) introducido en el IMMI para la Avenida San Pablo.	134
Tabla. XL. Aforo (IMH) introducido en el IMMI para la M-21.	135
Tabla. XLI. Cálculo teórico del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para el periodo día. Fuente: Ruido de aviones por la zona.	136
Tabla. XLII. Nivel de presión sonora promedio. Ruido residual. Periodo día.	137

Tabla. XLIII. Cálculo teórico del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para el periodo tarde. Fuente: Ruido de aviones por la zona.

138

Tabla. XLIV. Nivel de presión sonora promedio. Ruido residual. Periodo tarde.

138

Tabla. XLV. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo día.

145

Tabla. XLVI. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo día. Ajuste de velocidades.

147

Tabla. XLVII. Aforos introducidos en el modelo para la Avenida san Pablo. Ajuste del aforo.

148

Tabla. XLVIII. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo día. Ajuste del aforo.

149

Tabla. XLIX. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo tarde.

151

Tabla. L. Comparación de los niveles proporcionados por el modelo (sin ruido de aviones) entre los planos situados a 4 m y 1,5 m. Periodo día.

152

Tabla. LI. Comparación de los niveles proporcionados por el modelo (sin ruido de aviones) entre los planos situados a 4 m y 1,5 m. Periodo tarde.

153

Tabla. LII. Niveles promedios globales obtenidos con medidas "in situ" . Periodo día y tarde.

154

Tabla. LIII. Aportación de nivel al modelo validado por ruido de aviones. Periodo día.

156

Tabla. LIV. Aportación de nivel al modelo validado por ruido de aviones. Periodo tarde.

157

Tabla. LV.	Incertidumbre debida a la instrumentación. Grupo 1.	164
Tabla. LVI.	Incertidumbre debida a la instrumentación. Grupo 2.	165
Tabla. LVII.	Promedio de paso de vehículos. Periodo día.	168
Tabla. LVIII.	Incertidumbre típica por tráfico rodado. Periodo día.	168
Tabla. LIX.	Nivel de presión sonora. Paso de trenes por la zona.	169
Tabla. LX.	Incertidumbre típica por tráfico de cercanías en la zona	170
Tabla. LXI.	Nivel de presión sonora. Paso de aviones por la zona.	174
Tabla. LXII.	Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P1	
DÍA.	178	
Tabla. LXIII.	Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P2	
DÍA.	179	
Tabla. LXIV.	Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P3	
DÍA.	180	
Tabla. LXV.	Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P4	
DÍA.	181	
Tabla. LXVI.	Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P5	
DÍA.	181	
Tabla. LXVII.	Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P6	
DÍA.	182	
Tabla. LXVIII.	Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P7	
DÍA.	183	
Tabla. LXIX.	Cálculo de la incertidumbre en cada punto de muestreo a partir de las medidas realizadas en cada uno de ellos	184



Tabla. LXX. Niveles de ruido total en los puntos de muestreo, con expresión de su incertidumbre asociada. Periodo día y tarde.

185

Índice de ecuaciones

- (1) Índice de ruido continuo equivalente corregido.
- (2) Incertidumbre asociada al conteo de vehículos.
- (3) Índice de ruido referente a los niveles sonoros producidos por fuentes combinadas
- (4) Niveles de evaluación.
- (5) Corrección por componentes tonales emergentes.
- (6) Corrección por componentes de baja frecuencia.
- (7) Variación de los niveles de presión sonora con las condiciones climáticas. Suelos blandos
- (8) L_{AE} . Nivel de exposición sonora
- (9) Relación entre el L_{AE} y el nivel continuo equivalente.
- (10) Nivel de presión sonora energético promedio.
- (11) Fuentes puntuales. Variación teórica del nivel de presión sonora con la distancia.
- (12) Incertidumbre asociada al uso del sonómetro. Grupo 1.
- (13) Incertidumbre asociada al uso del sonómetro. Grupo 2.
- (14) Incertidumbre típica debida al tráfico ferroviario.
- (15) Desviación típica de la media como estimador de la incertidumbre típica $u(x_i)$.
- (16) Nivel de presión sonora corregido. Incertidumbre debida al sonido residual.

Resumen

El presente documento analiza y evalúa el ruido ambiental existente en las zonas de uso residencial ubicadas en el Barrio de “La Estación”, en el entorno de la Avenida San Pablo, pertenecientes al municipio de Coslada (Madrid).

La zona que contempla el proyecto es muy completa, ya que en ella están presentes diferentes tipos de ruido medioambiental (tráfico ferroviario, tráfico rodado, tráfico aeroportuario, ruido industrial de instalaciones, ruido de actividades, etc), donde las fuentes de ruido pueden manifestarse aisladas o en diversas combinaciones. Para evaluar el ruido total existente, se analiza por un lado el ruido residual de la zona de estudio, y por otro el ruido específico e intermitente asociado a sucesos aislados, como son el ruido de aviones y el ruido de trenes, donde se estudia individualmente la existencia de componentes de tonalidad, baja frecuencia e impulsividad.

Una vez obtenidos los niveles de ruido total y ruido residual en la zona objeto de estudio, el índice Nivel de presión sonora promedio L_{pm} de las muestras analizadas, estima correctamente los niveles obtenidos en el muestreo de larga duración.

En las medidas realizadas se detecta la existencia de componentes de tonalidad y baja frecuencia en los pasos de aviones y trenes registrados.

Se calculan los niveles sonoros existentes en la zona de estudio. Para ello se realiza una evaluación de los índices de ruido L_d , para el periodo día, y L_e , para el periodo tarde, utilizando como herramienta de cálculo el programa IMMI 6.3.1e.

Se realiza la validación del mapa de niveles sonoros obtenido con el IMMI 6.3.1e. Para ello se hace una comparación entre los niveles calculados con el modelo, y los niveles medidos “in situ” en los puntos de muestreo.

Por último se obtiene la incertidumbre en cada una de las medidas ejecutadas en una segunda campaña “in situ”, correspondientes a niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderado A ($L_{Aeq,5min}$), teniendo en cuenta las posibles desviaciones ocasionadas por el equipo de medida, condiciones meteorológicas, procedimiento de realización del ensayo, etc.

Summary

The present document analyzes and evaluates the environmental noise in the residential areas located at “La Estación” district, near the San Pablo Avenue, in the Coslada municipality (Madrid).

The area considered in this project is very complete, once it covers different types of environmental noise (railway traffic, vehicular traffic, airport traffic, industrial noise of building systems, activities noise, etc), where noise sources may appear isolated or under several combinations. In order to evaluate the existing total noise, on one hand it is analyzed the residual noise in the study area, and on the other hand it is analyzed the specific and intermittent noise associated to isolated occurrences, such as the noise of the aircrafts and the noise of the trains, where the existence of components of tonality, low frequency and impulsiveness is studied individually.

After obtaining the levels of total noise and residual noise in the target study area, the sound pressure level average index (L_{Pm}) of the analyzed samples estimates correctly the levels obtained in the sampling of long duration.

On what concerns the measures carried out, it is detected the existence of components of tonality and low frequency in the registered aircrafts and trains passage.

The sound levels of the study area are calculated. For that it is made a valuation of the L_d noise ratio, concerning the day period, and L_e , concerning the afternoon period. The calculation tool used is the IMMI 6.3.1e programme.

The validation of the map of sound levels obtained with the IMMI 6.3.1e is made. In order to get this validation, it is made a comparison between the levels calculated with the model and the levels measured “in situ” in the sampling points.

Finally the uncertainty is obtained in each one of the measurements made in a second sampling “in situ”, correspondent to equivalent A-weighted continuous sound pressure level ($L_{Aeq,5 \text{ min}}$), having in mind the possible deviations caused by the equipment of measure, meteorological conditions, essay’s execution procedures, etc.

1 Introducción

1.1. Introducción.

El presente documento analiza y evalúa el ruido ambiental existente en las zonas de uso residencial ubicadas en el Barrio de “La Estación”, en el entorno de la Avenida San Pablo, pertenecientes al municipio de Coslada (Madrid).

Desde el punto de vista acústico, se puede decir que la zona que contempla el proyecto es muy completa, ya que en ella están presentes diferentes tipos de ruido medioambiental (tráfico ferroviario, tráfico rodado, tráfico aeroportuario, ruido industrial de instalaciones, ruido de actividades, etc), donde las fuentes de ruido pueden manifestarse aisladas o en diversas combinaciones. Para evaluar el ruido total existente, se analiza por un lado el ruido residual de la zona de estudio, y por otro el ruido específico e intermitente asociado a sucesos aislados, como el ruido de aviones y el ruido de trenes, donde se estudia individualmente la existencia de componentes de tonalidad, baja frecuencia e impulsividad.

Desde el punto de vista urbanístico, teniendo en cuenta que el uso predominante en el Barrio de “La Estación” es industrial, y que la zona de estudio es de uso residencial, se ha visto necesario estudiar en el proyecto, con medidas “in situ”, la atenuación de los niveles de emisión de los focos de ruido procedentes del uso industrial colindante con la zona de estudio, para verificar que la zona de transición existente entre ambos usos es suficiente para amortiguar dichos niveles.

El documento contiene un estudio desarrollado en base a la Directiva 49/2002, de 25/06/2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, a la Ley 37/2003, de 17/11/2003, del ruido, al Real Decreto 1038/2012, de 06/07/2012, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad acústica y emisiones acústicas, al Real Decreto 1367/2007, y al Real Decreto 1513/2005, de 16/12/2005, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. Además en el documento se establece el método de como se han llevado a cabo las mediciones, y la evaluación de las fuentes mencionadas anteriormente, así como las observaciones de mayor interés en cuanto al escenario de medida.

En el documento se recogen todos los aspectos relacionados con el ruido ambiental existente en la zona de estudio, incluyendo los siguientes apartados:

- **Fase 0:** Se describe la zona de estudio, el planeamiento urbanístico, los usos del suelo existentes en ella, las principales fuentes de ruido, y la legislación aplicable al proyecto.
- **Fase I:** Se realiza un análisis del escenario acústico actual que existe en la zona. Se describe la primera campaña de medidas ejecutadas “in situ” correspondiente a los periodos de evaluación día y tarde, se analizan las huellas acústicas correspondientes al paso de aviones y trenes por la zona, estudiando la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia, y componentes impulsivas con las medidas realizadas y durante el tiempo en que la característica específica está presente. Por último, se evalúa el ruido industrial procedente de la instalación más cercana a las zonas residenciales objeto de estudio.
- **Fase II:** Se calculan los niveles sonoros existentes en la zona de estudio. Para ello se realiza una evaluación de los índices de ruido L_d , para el periodo día, y L_e , para el periodo tarde, utilizando como software de predicción acústica para realizar el cálculo el programa IMMI 6.3.1e, y como datos de entrada al modelo los proporcionados por fuentes oficiales españolas, como RENFE para tráfico ferroviario y la Dirección General de Tráfico (Ministerio de Fomento) para tráfico rodado, así como otros observados en los días de medición.
- **Fase III:** Se realiza la validación del mapa de niveles sonoros obtenido en la Fase II con el modelo de predicción acústica IMMI 6.3.1e. Para ello se hace una comparación entre los niveles calculados con el modelo, y los niveles medidos “in situ” en los puntos de muestreo (en adelante puntos estratégicos). Los niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderado A ($L_{Aeq,15\text{ min}}$) obtenidos en los siete puntos estratégicos a 1,5 metros de altura, son los que se utilizan para hacer la validación del mapa de ruido obtenido con IMMI 6.3.1e en la zona.
- **Fase IV:** Se obtiene la incertidumbre en cada una de las medidas ejecutadas en una segunda campaña “in situ”, correspondientes a niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderado A ($L_{Aeq,5\text{ min}}$), teniendo en cuenta las posibles desviaciones ocasionadas por el equipo de medida, condiciones

meteorológicas, procedimiento de realización del ensayo, etc. En base a la norma ISO 1996-2:2009 se estudian las contribuciones debida a la instrumentación, a las condiciones de operación, a la climatología y condiciones del suelo, y al ruido de fondo, en la estimación de la incertidumbre asociadas a los resultados de dichas medidas.

2 Fase 0: Descripción de la zona de estudio

2.1. Localización y ámbito de estudio

La zona donde se localiza el proyecto se encuentra en el distrito número 4 del municipio de Coslada (Madrid), en el Barrio de “La Estación”. Se denomina así por encontrarse muy cercano a la estación de ferrocarril San Fernando de Henares. Coslada cuenta aproximadamente con una población de 90.500 habitantes, una superficie de 12 km² y una densidad de población de 7.515 hab./km², y el distrito número 4 sólo representa el 3,7% del total de la población de Coslada, con una población censada de 3.145 habitantes.

La superficie del ámbito de estudio es de aproximadamente 63.000 m², de los cuáles 32.000 m² son zonas residenciales, 13.750 m² de zonas industriales, y 4.000 m² de espacios libres.

Las principales fuentes de ruido existentes en la zona son:

- Tráfico rodado: Proviene de la avenida San Pablo, que discurre entre las zonas residenciales objeto de estudio, y la M-21, situada muy al norte de dichas zonas.
- Tráfico ferroviario: Proviene de la Red ferroviaria (RENFE), correspondiente a las líneas de cercanías C-1, C-2 y C-7a que circulan por la estación San Fernando de Henares, dentro del término municipal de Coslada.
- Tráfico aeroportuario: Proviene del aeropuerto internacional Madrid-Barajas, ubicado a escasa distancia del ámbito de estudio.
- Instalaciones industriales: Proviene de Justesa Imagen y de la I.T.V de Coslada, ubicadas al sur del ámbito de estudio, y por otra parte la fábrica de aire acondicionado situada al norte del ámbito de estudio.
- Actividad industrial de una gravera: Situada al este del ámbito de estudio, dentro del término municipal de San Fernando de Henares.

A continuación se adjunta en Figura 1, una fotografía aérea (Fuente: Google Earth) donde pueden observarse todas las fuentes de ruido mencionadas anteriormente, y los puntos Pi seleccionados para realizar la campaña de muestreo “in situ”. Dichas fuentes se analizarán en apartados posteriores.



Figura 1. Fuentes de ruido existentes en el ámbito de estudio

2.2. Usos del suelo y Planeamiento existente



Figura 2. Calificación de las zonas dentro del ámbito de estudio

Según el Planeamiento vigente en Coslada (Plan General Municipal de Ordenación Urbana), el suelo ocupado dentro del ámbito de estudio (rectángulo en la Figura 2) presenta las siguientes características:

- Zonas de Uso Residencial: Son las que presentan color rojo en la Figura 2, ubicadas a ambos lados de la Avenida San Pablo. Ambas con clasificación de Suelo Urbano Consolidado, y con calificación de Vivienda Multifamiliar de edificación abierta.
- Zonas de Uso Industrial: Son las que presentan color amarillo en la Figura 2, ubicadas al norte y al sur del ámbito de estudio. Todas con clasificación de Suelo Urbano No Consolidado, y con calificación de Zona Industrial.
- Zonas de Espacios Libres: Son las que presentan color verde en la Figura 2, con especial interés en la zona situada al sur del ámbito de

estudio, entre la zona de uso residencial y la zona de uso industrial. Tiene clasificación de Suelo Urbano Consolidado, con calificación de Zona de Espacios Libres.

- Zona de Red Ferroviaria: Se presenta con color gris en la Figura 2, y ubicada al norte de las zonas residenciales. Tiene clasificación de Suelo Urbano Consolidado, con calificación de Zona de Red Ferroviaria.
- Zona del Río Jarama: Es la zona ubicada al este del ámbito de estudio, ocupada por el río, que separa los términos municipales de Coslada y San Fernando de Henares. Esta zona tiene clasificación de Suelo No Urbanizable, con calificación de Zona de Protección de Cauces. Delimita una franja que separa la zona residencial objeto de evaluación acústica de la gravera de San Fernando de Henares.

El uso del suelo es relativamente importante en lo referente a la propagación del ruido, en tanto que está directamente relacionado con su absorción, en función de la porosidad, densidad y humedad del mismo, pero sobre todo por el efecto de la vegetación.

Para calcular la dispersión del sonido en el ámbito de estudio, así como para evaluar adecuadamente la presión sonora que habrán de soportar sus ocupantes, es necesario tener en cuenta la situación y las características de las edificaciones existentes en la zona. Es importante sobre todo la altura sobre el terreno.

En este proyecto, los datos no se han extraído de Ordenanzas Generales ni Particulares del Planeamiento urbanístico, sino por observación “in situ” visitando la zona. Las alturas de los edificios de los diferentes usos, se adjuntan a continuación:

Calificación	Tipo	Situación	Altura máxima (metros)	Número de plantas
Residencial	Multifamiliar	Este Avda. San Pablo	14	Baja + 3
Residencial	Multifamiliar	Oeste Avda. San Pablo	14	Baja + 3

Calificación	Tipo	Situación	Altura máxima (metros)	Número de plantas
Residencial	Multifamiliar	Oeste Avda. San Pablo	17,5	Baja + 4
Industrial	-	Este Avda. San Pablo	10	-

Tabla. I. Alturas de los edificios ubicados en la zona de estudio.

2.3. Fuentes de ruido en el ámbito de estudio

Para hacer un análisis de los niveles de ruido en ambiente exterior, se identifican las fuentes sonoras de emisión de ruido externas a las edificaciones que resulten significativas. Las fuentes que se consideran significativas del ruido residual en la zona son aquellas que tienen un carácter permanente y continuo. La principal de estas fuentes es, para la zona que se está estudiando, el tráfico rodado por carretera. Esta fuente de ruido se considera como fuente lineal, y dependiente directamente de las condiciones de tráfico existentes en los días que se realizan las medidas (número de vehículos, velocidades, número de carriles, etc...). Se enumeran en los dos siguientes apartados.

2.3.1. Tráfico rodado: Avenida San Pablo

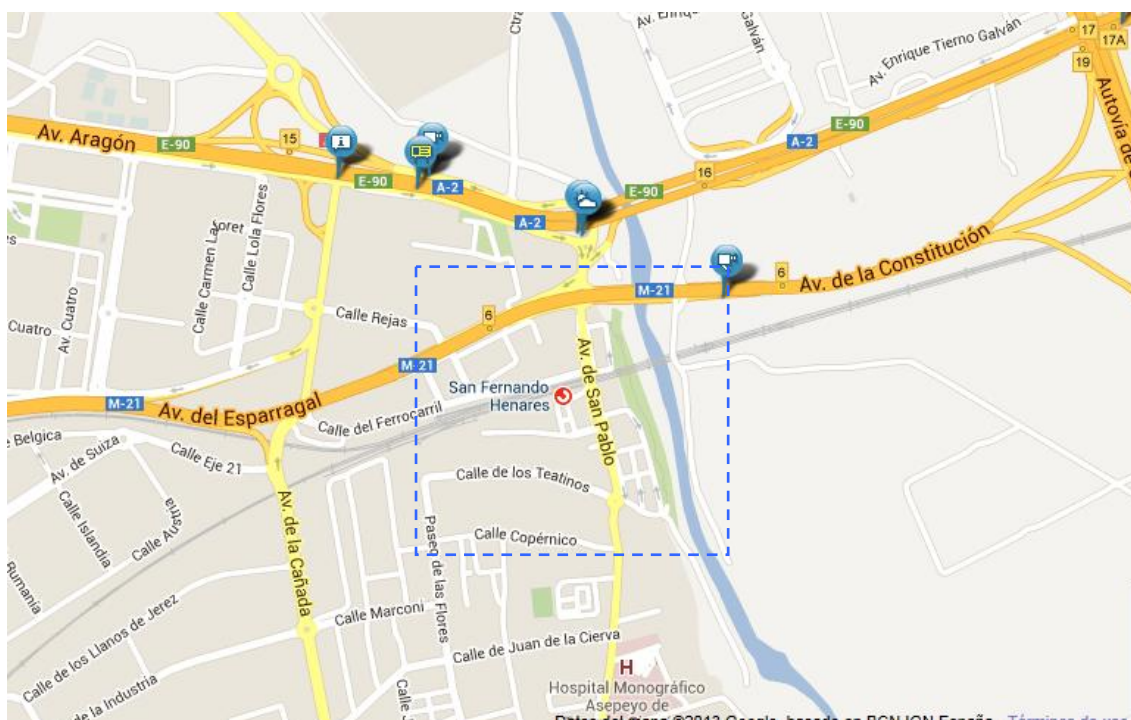


Figura 3. Tráfico rodado en la zona: Avda. San Pablo y M-21



Figura 4. Cámaras fuera de servicio en la M-21

Las fuentes que pueden considerarse significativas en la zona, por su efecto sobre los niveles de ruido en ambiente exterior, son avenidas principales y carreteras. En la Figura 3, se puede observar que el tráfico rodado principal para la zona de estudio procede de la Avenida San Pablo, y la M-21.

El tráfico que soporta la Avenida San Pablo, se ha estimado en base a observaciones “in situ” y a las características del viario.

Para obtener una estimación de las velocidades que pueden alcanzar los vehículos en dicha Avenida, se realiza un viaje en coche por la zona, se observa la señalización, tanto vertical como horizontal, y se recogen todo tipo de anotaciones referentes al tráfico (fluidez, retenciones, tráfico de pesados, etc), con objeto de asignar posteriormente al modelo datos lo más cercanos a la realidad. En este tramo de la avenida existe una señal vertical de prohibido circular a más de 40 km/h, un semáforo, y finalmente una rotonda, por lo que en el modelo se han introducido como datos para el tramo, una velocidad de 40 km/h para ligeros y de 30 km/h para pesados.

La avenida discurre justamente entre edificios residenciales en la zona de estudio, y se caracteriza por presentar una intensidad circulatoria alta, sobre todo en las primeras horas de la mañana (periodo diurno). En el periodo tarde la intensidad de vehículos disminuye considerablemente.

A efectos de cálculo de los índices de ruido que se van a cartografiar (L_d y L_e), los niveles de ruido durante un período de tiempo o una franja horaria dependen de la intensidad media horaria (IMH) que circule por las vías de tráfico durante el período considerado. Por lo tanto, para cartografiar los niveles de ruido en los períodos establecidos por el Real Decreto 1367/2007, es necesario conocer los IMH de los períodos entre 7:00 y 19:00 (día), y 19:00 y 23:00 (tarde).

A continuación se adjuntan datos correspondientes al IMH en el escenario actual (2013), para los periodos día y tarde, obtenidos de las campañas de medidas realizadas en la zona:

2013		Total	Día	Tarde
Avenida San Pablo	IMH Ligeros	1.262	1.060	202
	IMH Pesados	98	86	12
	Total	1.360	1.146	214

Tabla. II. Intensidad Media Horaria de la Avenida San Pablo.

2.3.2. Tráfico rodado: Carretera M-21

Es una carretera cuyo tráfico discurre al norte de la zona de estudio, a unos 295 metros de distancia aproximadamente. Su intensidad circulatoria en el tramo que afecta a las zonas residenciales objeto de estudio es alta.

Como puede observarse en la Figura 4, la cámara ubicada en la carretera M-21 estaba fuera de servicio el día que se realizan las medidas, por lo que no se dispone de datos de tráfico. Para obtener los datos de tráfico y los datos de velocidades de vehículos ligeros y pesados (en la M-21) se han utilizado los datos proporcionados por

el CD “Mapa de Tráfico 2011” (Anejo 1) del Ministerio de Fomento (Dirección General de Tráfico).

En la zona de estudio existe la estación de aforo que aparece en la siguiente tabla:

Carretera	Estación	PK	Tipo	IMD 2011	Pesados
M-21 Calzada 1+2	E-87	2,51	Autovía	57.405	4.923

Tabla. III. Datos de la estación de aforo de la M-21 más próxima a la zona.
Versión 2011. Ministerio de Fomento (DGT)

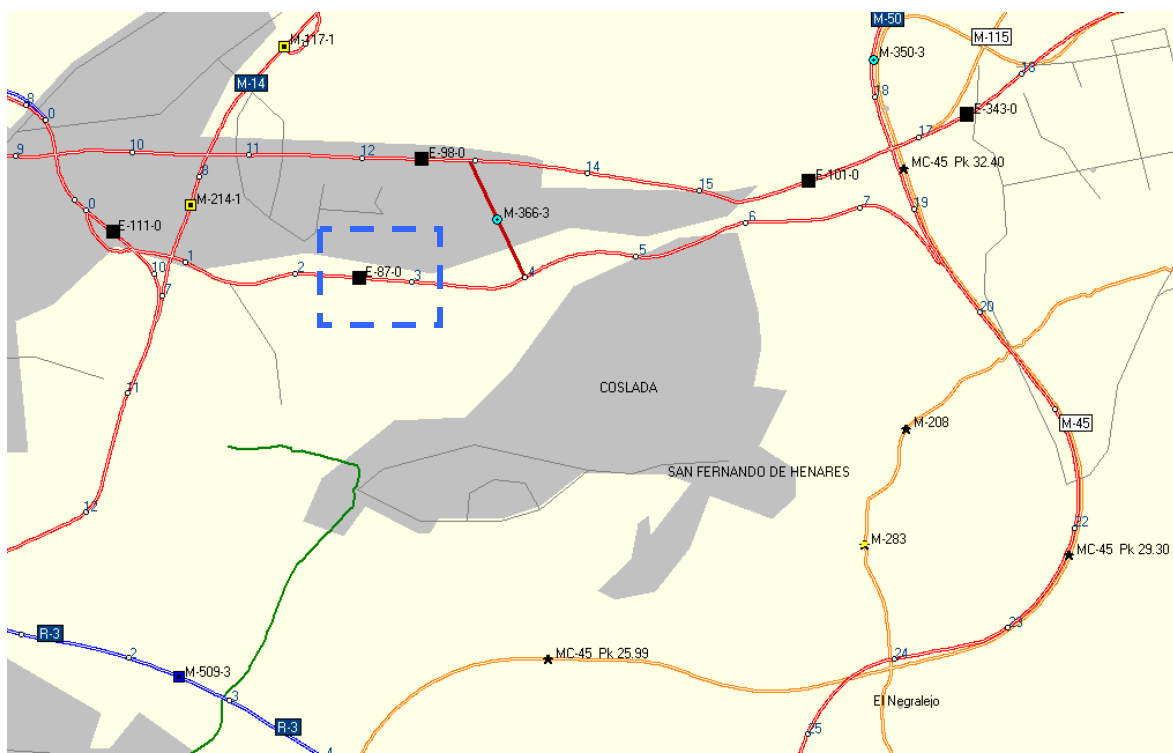


Figura 5. Estación de aforo de la M-21 más próxima a la zona

El parámetro que mide la intensidad de tráfico (IMD, suministrado generalmente en vehículos totales/día) ha sido obtenido para la M-21, en el tramo que afecta al ámbito de estudio. A continuación se adjuntan los datos de IMD para la carretera M-21, obtenida del Anejo 1. Estos datos han sido actualizados al año actual (2013), y para ello se han aplicado las previsiones de crecimiento de tráfico oficiales (Anejo 2).

Los datos de velocidades de vehículos que se han considerado en el proyecto para este tramo de carretera (M-21), han sido obtenidos del Anejo 1. Se ha modelizado este vial con velocidades de 97,7 km/h para ligeros, y 83,4 km/h para pesados.

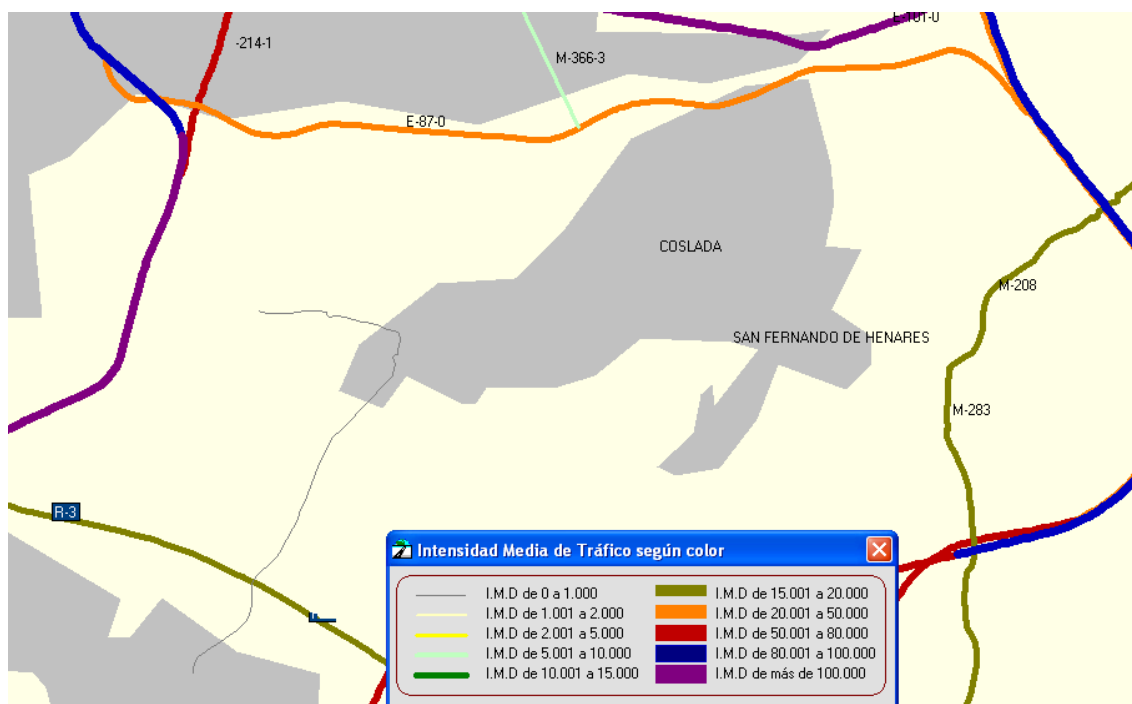


Figura 6. Intensidad media de tráfico en la M-21. Año 2011.

Fuente: DGT

2011		Total	Día	Tarde
M-21	IMD Ligeros	43.177,2	32.382,9	10.794,3
	IMD Pesados	4.068,6	3.051,4	1.017,1
	Total	47.245,8	35.434,4	11.811,5

Tabla. IV. Intensidad Media Diaria de la M-21. Año 2011. Fuente: DGT

Los datos de aforo recogidos en la Tabla IV permiten considerar los tráficos que circulan por las carreteras del entorno de estudio como intensidades medias diarias (IMD), es decir el número de vehículos (ligeros y pesados) que circulan por la

carretera durante un día completo, utilizando la media de los registros de un número suficiente de días.

Sin embargo, y a efectos de cálculo de los índices de ruido que se van a cartografiar (Ld y Le), los niveles de ruido durante un periodo de tiempo o una franja horaria dependen de la intensidad media horaria (IMH) que circule por la vía de tráfico durante el período considerado. Por lo tanto, para cartografiar los niveles de ruido en los periodos establecidos por el Real Decreto 1367/2007, es necesario conocer los IMH de los periodos entre 7:00 y 19:00 (día), 19:00 y 23:00 (tarde), y entre 23:00 y 7:00 (noche). Para el proyecto sólo se han estudiado los periodos día (dividiendo IMD entre 12 horas) y tarde (dividiendo IMD entre 4 horas), por lo que no se considera el periodo noche.

Para actualizar los datos de la Tabla IV al escenario 2013, se aplicó un porcentaje de incremento anual del 0,9 % (2011 a 2013).

2013		Total	Día	Tarde
M-21	IMD Ligeros	43.957,9	32.968,4	10.989,5
	IMD Pesados	4.142,2	3.106,6	1.035,5
	Total	48.100,1	36.075,1	12.025,0

Tabla. V. Intensidad Media Diaria de la M-21. Año: 2013. Fuente: Previsión de crecimiento de fuentes oficiales (según hipótesis alta para el periodo 2011-2020)

A continuación se señalan las fuentes que se consideran significativas del ruido específico e intermitente de la zona de estudio. Se observan durante determinados periodos de tiempo que se producen a intervalos regulares o irregulares y son tales que la duración de sus sucesos supera los 10 segundos de duración. Se enumeran en los dos siguientes apartados.

2.3.3. Tráfico ferroviario: Líneas de Cercanías C1, C2, y C7a

El tráfico ferroviario existente en el Barrio de “La Estación”, proviene de la Red ferroviaria (RENFE), correspondiente a las líneas de cercanías C-1, C-2 y C-7a que circulan por la estación San Fernando de Henares dentro del término municipal de Coslada.

La línea de ferrocarril que atraviesa Coslada es electrificada de doble vía, conecta Madrid con Barcelona, y por ella circulan trenes de diferentes tipos y composiciones; grandes líneas de RENFE, regionales, cercanías (de las líneas mencionadas anteriormente) y mercancías.

En el proyecto se pretende conocer los niveles de ruido debidos exclusivamente a una categoría de tren observado en la zona (tren de cercanías), por lo que en la primera campaña se han realizado mediciones “in situ” de mayor continuidad (15 minutos) que la establecida en el Real Decreto 1367/2007 (5 minutos), y que comprendieran el mayor número de pasos de tren. El ruido que origina dicha categoría de tren es un ruido intermitente, y se comprueba que la duración de cada paso es igual o superior a los 10 segundos.

Para hacer una evaluación detallada del ruido procedente de un paso de tren en cada punto de medida, se ha estudiado la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y componentes impulsivas, aunque según el Real Decreto 1367/2007 para este tipo de emisor acústico no es necesario aplicar dichas correcciones. Dicho análisis se realiza en apartados posteriores.

En referencia a la modelización, la evaluación del ruido ferroviario se ha hecho siguiendo la norma SRM II, que tiene en cuenta diversos aspectos, tales como: tipo de tren, número de unidades / hora, proporción de unidades con frenos, así como el tipo de raíles y el sustrato sobre el que se colocan.

En cuanto a las frecuencias de paso, los datos introducidos en el modelo fueron los obtenidos de fuentes oficiales (RENFE) para las líneas Guadalajara-Chamartín, Chamartín-Guadalajara, Alcalá de Henares-Chamartín, y Chamartín-Alcalá de Henares, con un total de 24 trenes/hora para el periodo día y 22,5 trenes/hora para el periodo tarde. Estos datos se adjuntan en Anejo 3.

La velocidad de un tren de cercanías en un tramo alejado de la estación puede alcanzar entre 100 y 140 km/h.

Para estimar las velocidades de los trenes en el ámbito de estudio, se ha tenido en cuenta la proximidad a una zona habitada, y los límites legales establecidos para esta vía en función del tipo de tren, tomados de fuentes oficiales.

En la modelización se ha considerado para la velocidad de los trenes de cercanías, una estimación de 70 km/h en el tramo que afecta a las zonas residenciales más cercanas, teniendo en cuenta que en dicho tramo se produce el arranque de los trenes que salen de la estación y la desaceleración de los trenes que llegan a la estación.

2.3.4. Tráfico aeroportuario: Madrid – Barajas

La zona de estudio está localizada a menos de 5 kilómetros de distancia del aeropuerto internacional de Madrid-Barajas.

En relación a la huella aérea de la Comunidad de Madrid, Coslada es un municipio que está afectado por la definición que realiza AENA de la huella aérea o zona de afección, a causa de los ruidos originados por las operaciones de aterrizaje y despegue.

La orientación de las pistas del aeropuerto y las características climáticas de la zona hacen que su utilización se realice, según los vientos que predominen en el día de referencia, en dos configuraciones diferentes, cuya distribución en el tiempo es muy asimétrica. En la configuración Norte los despegues se realizan en dirección Norte, y los aterrizajes se realizan con aproximaciones desde el SSE. En la configuración Sur las trayectorias de aproximación y despegue se realizan exactamente al revés. El ruido producido en la operación de despegue es muy superior al que se genera durante el aterrizaje y por tanto la huella aérea en cada configuración es mucho más ancha y larga en la dirección del despegue que en la del aterrizaje.

Como información de partida se ha optado por tener en cuenta la huella sonora de AENA más cercana en el tiempo al año actual 2013, que es la correspondiente al año 2010. Una vez georreferenciadas las zonas residenciales objeto de estudio, se ha superpuesto la huella acústica mencionada anteriormente y se han tenido en cuenta como referencia e inicialmente los niveles de presión sonora de dicha huella a través de la envolvente de 67 dB Día.

La problemática de ruido asociada al ámbito de estudio se debe fundamentalmente al sonido producido por los aviones en sus movimientos hacia o desde el aeropuerto de Barajas. Éste factor por sí solo es suficiente para que se

sobrepasen los límites para zonas de uso residencial establecidos por la Comunidad de Madrid. Además, se trata de un ruido contra el que no caben medidas correctoras factibles, tipo apantallamientos, modificaciones en la disposición de edificios, etc, sino únicamente un tratamiento aislante especial de los edificios expuestos.



Figura 7. Huella sonora del aeropuerto Madrid-Barajas. Año 2010. AENA

El tráfico de aviones es una componente que hay que tener en cuenta en la situación acústica de Coslada, debido a que la huella acústica del aeropuerto de Barajas afecta a gran parte del municipio, al noreste del término municipal. Con objeto de conocer los niveles de ruido generados por el tráfico de aviones en esta zona, se

han realizado en la primera campaña mediciones “in situ” con una continuidad de 15 minutos, que comprendieran el mayor número de pasos de aviones. Al igual que el ruido originado por el tráfico ferroviario, el tráfico aeroportuario procedente de Barajas también es un ruido intermitente, con una duración comprobada en cada suceso igual o superior a los 10 segundos.



Figura 8. Superposición de la Huella sonora sobre la zona de estudio georreferenciada. Isófona Roja (67 dB Día) e Isófona Morada (66 dB Día)

Para hacer una evaluación detallada del ruido procedente de un paso de avión en cada punto de medida, se ha estudiado la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y componentes impulsivas, aunque según el Real Decreto 1367/2007 para este tipo de emisor acústico no es necesario aplicar dichas correcciones. Dicho análisis se realiza más adelante.

Por último se presentan las instalaciones industriales como fuentes sonoras de emisión de ruido externas y más cercanas al ámbito de estudio, consideradas significativas en el ruido residual existente en la zona, pudiendo proceder de los focos fijos de las instalaciones, o de la actividad existente en el área de explotación de la gravera (ejecución de trabajos de arranque, carga y transporte con maquinaria, y de equipos de tratamiento) situada al este de la zona residencial.

2.3.5. Instalaciones o actividades industriales

En la Figura 1 pueden observarse todas las instalaciones o actividades industriales presentes en el ámbito de estudio. Las más cercanas al uso residencial son:

- **Justesa:** Es una instalación industrial ubicada al sur de la zona residencial objeto de estudio, y dedicada a la fabricación de ácido diatrizoico. Los principales focos de ruido que pueden afectar al uso residencial son: generadores de vapor, compresores y “scrubber”. Existe un parque entre esta instalación y los edificios residenciales que actúa como zona de transición entre el uso industrial y residencial (clasificado como zona de espacio libre según planeamiento vigente).
- **ITV Coslada:** Es una instalación de uso terciario, dedicada a la inspección técnica de vehículos. También se encuentra ubicada al sur de la zona residencial, justo detrás de Justesa. Los principales focos de ruido son: un extractor ubicado en altura, y el ruido impulsivo procedente del pitido de los coches.
- **Fábrica de aire acondicionado:** Es una instalación ubicada al norte de la zona residencial. La calle Trva del Jarama separa ambos usos. En las campañas de medidas realizadas “in situ” no se aprecia ruido procedente de dicha instalación.
- **Gravera:** El área de explotación donde se desarrolla la actividad de la gravera se sitúa al este de la zona residencial objeto de estudio. Los focos principales de ruido de la gravera proceden de la maquinaria (arranque, carga y transporte) y de los equipos de tratamiento. La zona por donde transcurre el río Jarama separa el uso residencial del uso industrial de la gravera (perteneciente al término municipal de San Fernando de Henares).

La complejidad del estudio acústico en instalaciones industriales reside en la cantidad y variedad de fuentes de ruido existentes. En el proyecto se realiza un análisis del ruido procedente de varias fuentes de ruido en conjunto, susceptible de provocar molestias en las zonas de uso residencial más cercanas, y se verifica si la zona de transición existente entre ambos usos es suficiente para amortiguar los niveles de dichas fuentes. En el análisis se realiza una evaluación detallada de la presencia de componentes tonales emergentes, de baja frecuencia, e impulsivas, y de cualquier combinación de ellas.

2.4. Marco legislativo

2.4.1. Normativa comunitaria

En el marco de la política comunitaria, la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (DOCE 18/07/2002), tiene como principal objetivo establecer un enfoque común destinado a evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos de la exposición al ruido, aplicando las siguientes medidas:

- Determinación de la exposición al ruido ambiental mediante la elaboración de los mapas de ruido según métodos de evaluación comunes.
- Informar a la población sobre ruido ambiental y sus efectos.
- Adoptar, por parte de los estados miembros, planes de acción para prevenir y reducir el ruido ambiental.
- Fijar bases que permitan elaborar medidas comunitarias de reducción de los ruidos emitidos por las principales fuentes, en particular, vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles.

En cuanto a la aplicación y responsabilidades, se establece que los estados miembros deberán definir las autoridades competentes para:

- La elaboración y aprobación de los mapas de ruido y planes de acción para aglomeraciones urbanas (más de 100.000 habitantes), grandes ejes viarios (más de 3.000.000 vehículos/año), grandes ejes ferroviarios

(más de 30.000 trenes/año) y grandes aeropuertos (más de 50.000 movimientos/año).

- La recopilación de los mapas de ruido y planes de acción.

2.4.2. RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN DE 6 DE AGOSTO DE 2003

Esta recomendación es relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, de tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes (DOCE 22/08/2003).

Se recomiendan aquí los métodos de cálculo señalados a continuación, en aquellos países donde no cuenten con métodos nacionales:

- Ruido de Tráfico Rodado: El método para calcular los niveles sonoros para el ruido de tráfico rodado, es el método nacional de cálculo francés “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”, mencionado en el *“Arrere du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routiéres, Journal du 10 mai 1995, article 6”*, y en la norma francesa “XPS 31-133”.
- Ruido de Trenes: Método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en *“Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai 96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Orrdening en Milieubeheer, 20 November 1996”*.
- Ruido Industrial: ISO 9613-2 “Acoustics. Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation”. Los métodos de medición para la obtención de datos de entrada son los que se contemplan en: ISO 8297:1994, EN ISO 3744:1995, y EN ISO 3746:1995.

2.4.3. Normativa estatal: Ley 37/2003

La norma que resulta de aplicación en el territorio nacional, es la Ley 37/2003 de 17 de noviembre del Ruido, que es la que regula la realización de los mapas de ruido.

Los tipos de áreas acústicas que define la Ley de Ruido, sin establecer valores límite u objetivos de calidad acústica para cada una de ellas, son los siguientes:

Áreas Acústicas	
Clase	Usos principales
a	Predominio residencial
b	Industrial
c	Recreativo y espectáculos
d	Terciario (salvo anterior)
e	Sanitario, docente, cultural
f	SG Infraestructuras de transportes, Equipamientos públicos
g	Espacios naturales que requieran protección

Tabla. VI. Áreas acústicas según la Ley del ruido 37/2003

Cabe destacar el hecho de que, de acuerdo a lo expuesto en la citada Ley, las administraciones competentes para delimitar estas áreas acústicas, así como los valores límite y objetivos de calidad acústica en cada área definida, son las Comunidades Autónomas.

2.4.4. Normativa estatal: Real Decreto 1513/2005

Decreto que desarrolla la Ley 37/2003 de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión ambiental, con la finalidad de prevenir, reducir o evitar efectos nocivos, incluyendo molestias, derivadas de la exposición al ruido ambiental. Se regulan determinadas actuaciones como son la elaboración de mapas estratégicos de ruido para determinar la exposición de la población al ruido ambiental, la adopción de planes de acción para prevenir y reducir el ruido ambiental y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, así como poner a disposición de la población la información sobre ruido ambiental y aquella de que dispongan las autoridades competentes en relación con el cartografiado acústico y planes de acción derivados, en cumplimiento del mismo.

En este decreto se determina que para aplicaciones distintas de elaboración de mapas estratégicos de ruido, se puede elegir la altura del punto de evaluación de los índices de ruido, si bien nunca deber ser inferiores a 1,5 m sobre el nivel del suelo.

2.4.5. Normativa estatal: Real Decreto 1367/2007

Por el que se desarrolla la Ley 37/2003 de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Definen índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente; se delimitan los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre; se establecen los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones; se regulan los emisores acústicos fijándose valores límite de emisión o de inmisión así como los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.

Se establecen los tres periodos temporales de evaluación diarios siguientes:

- Periodo día (d): al periodo día le corresponden 12 horas, de 7:00 a 19:00 horas
- Periodo tarde (e): al periodo tarde le corresponden 4 horas, de 19:00 a 23:00
- Periodo noche (n): al periodo noche le corresponden 8 horas, de 23:00 a 7:00

Se establecen los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes:

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural, que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c)	70	70	65

		Índices de ruido		
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65

Tabla. VII. Objetivos de calidad acústica. Áreas urbanizadas existentes.

Se establecen los valores límite de inmisión máximos de ruido aplicables a infraestructuras ferroviarias y aeroportuarias:

Tipo de área acústica		Índice de ruido
		L_{Amax}
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural, que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	80
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	85
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c)	88
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	90
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	90

Tabla. VIII. Valores límite de inmisión máximos. Infraestructuras ferroviarias y aeroportuarias.

Se establecen los valores límite de inmisión de ruido aplicables a infraestructuras portuarias y actividades:

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$

		Índices de ruido		
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural, que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	50	50	40
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	55	55	45
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c)	60	60	50
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	63	63	53
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	65	65	55

Tabla. IX. Valores límite de inmisión. Infraestructuras portuarias y actividades.

2.4.6. Normativa de aplicación al Proyecto

Hasta el año 2003 en que, para la transposición de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, se aprobó por el Estado la citada Ley 37/2003, de 17 de noviembre, en la Comunidad de Madrid, el régimen jurídico de la protección contra la contaminación acústica lo conformaba el Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid.

La posterior aprobación de la legislación básica estatal hace innecesaria la regulación contenida en el Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por lo que dicho Decreto queda derogado según el Decreto 55/2012, de 15 de marzo, del Consejo de Gobierno de la Comunidad de Madrid.

Por tanto, las normas de aplicación más directa, y que motivan la realización de este documento, son la Ley 37/2003, del Ruido, el Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, y el Real Decreto 1513/2005, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

3

Fase 1:
Análisis del
escenario
acústico actual

3.1. Metodología utilizada para la evaluación de niveles sonoros actuales

En este punto se describe la metodología empleada para la realización de las medidas de niveles sonoros producidos por fuentes de ruido en el medio ambiente exterior. Se establecen los métodos que se han llevado a cabo para la evaluación de las fuentes de ruido presentes en el ámbito de estudio, tales como el ruido de tráfico rodado, tráfico de trenes, tráfico de aviones, industrial, etc., además de las consideraciones de mayor interés en cuanto al escenario de medida.

Dicha metodología se aplica al ruido procedente de varias fuentes, aisladas o en combinación, susceptibles de provocar molestias en el ambiente exterior de zonas residenciales ya urbanizadas.

Se basa en las exigencias que el **Real Decreto 1367/2007** y el **Real Decreto 1513/2005** imponen al contenido del presente proyecto y por otra en los conocimientos actualmente existentes en el ámbito de la predicción de los niveles sonoros en ambiente exterior, ajustando y validando convenientemente el modelo a las medidas realizadas “in situ” en la zona, de forma que el proyecto sea una herramienta útil y adecuada para evaluar los niveles de presión sonora en el ámbito de estudio. Además se han utilizado también como documentos de referencia las normas:

- **UNE-EN ISO 1996-1:2005** “Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación”.
- **UNE-EN ISO 1996-2:2009** “Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental”.

La metodología seguida sirve como documento guía para las mediciones de ruido ambiental realizadas en el proyecto, aunque en determinadas situaciones es complicada aplicar dicha sistemática. Se ha tratado de realizar la medición y evaluación del nivel de ruido en cada punto en base al propio criterio y a la experiencia, justificando técnicamente el procedimiento adoptado.

Por otro lado, lo más común es realizar la evaluación del nivel de ruido en una zona teniendo en cuenta la ordenanza de protección frente al ruido existente en el municipio al que pertenece, o la normativa de ruido de la comunidad autónoma al que pertenece dicho municipio. Para Coslada han quedado derogadas ambas normas, por

lo que se ha utilizado como norma de aplicación más directa el Real Decreto 1367/2007.

3.1.1. Consideraciones generales de la normativa

La estructura del siguiente apartado seguirá la misma que presenta el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Como el objetivo de esta Fase 1 es la evaluación de los índices de ruido mediante la medición in situ se han adoptado los métodos de medida que cumplan:

- Las definiciones de los índices de ruido del Anexo I del Real Decreto 1367/2007.
- Los métodos de evaluación para los índices de ruido del Anexo IV del Real Decreto 1367/2007.
- Los principios, aplicables a las mediciones para evaluar niveles de ruido en determinados periodos temporales de evaluación expuestos en las normas UNE-EN ISO 1996-1:2005 y UNE-EN ISO 1996-2:2009.

Periodos temporales de evaluación

En el proyecto se establecen dos periodos temporales para evaluar el ruido total (ruido residual de la zona de estudio más ruido intermitente asociado a paso de aviones y trenes):

- **Periodo día (d):** de 7:00 a 19:00. La campaña de medidas se realiza el 13 de mayo de 2013. Se comienza a medir a las 10:20 en el punto estratégico P1 y se termina a las 12:47 en el punto estratégico P7. Se realiza el muestreo en siete puntos estratégicos.
- **Periodo tarde (e):** de 19:00 a 23:00. La campaña de medidas se realiza el 13 de mayo de 2013. Se comienza a medir a las 21:46 en el punto estratégico P1 y se termina a las 23:00 en el punto estratégico P7. Se realiza el muestreo en cuatro puntos estratégicos (P1, P5, P6, y P7).
- En *periodo noche* no se realizan medidas, al no existir ruido asociado a paso de aviones y trenes.

Localización de los puntos de medición

La localización de los puntos en los que se han realizado mediciones de ruido se ha elegido con el objetivo fundamental de caracterizar las fuentes de ruido colindantes con el ámbito, de forma que el modelo informático pueda ajustarse al máximo a la realidad. Se han elegido siete puntos estratégicos de control de ruido en la zona de uso residencial a estudiar, teniendo en cuenta las fuentes de ruido indicadas en la Fase 0. Dichos puntos se adjuntan a continuación:

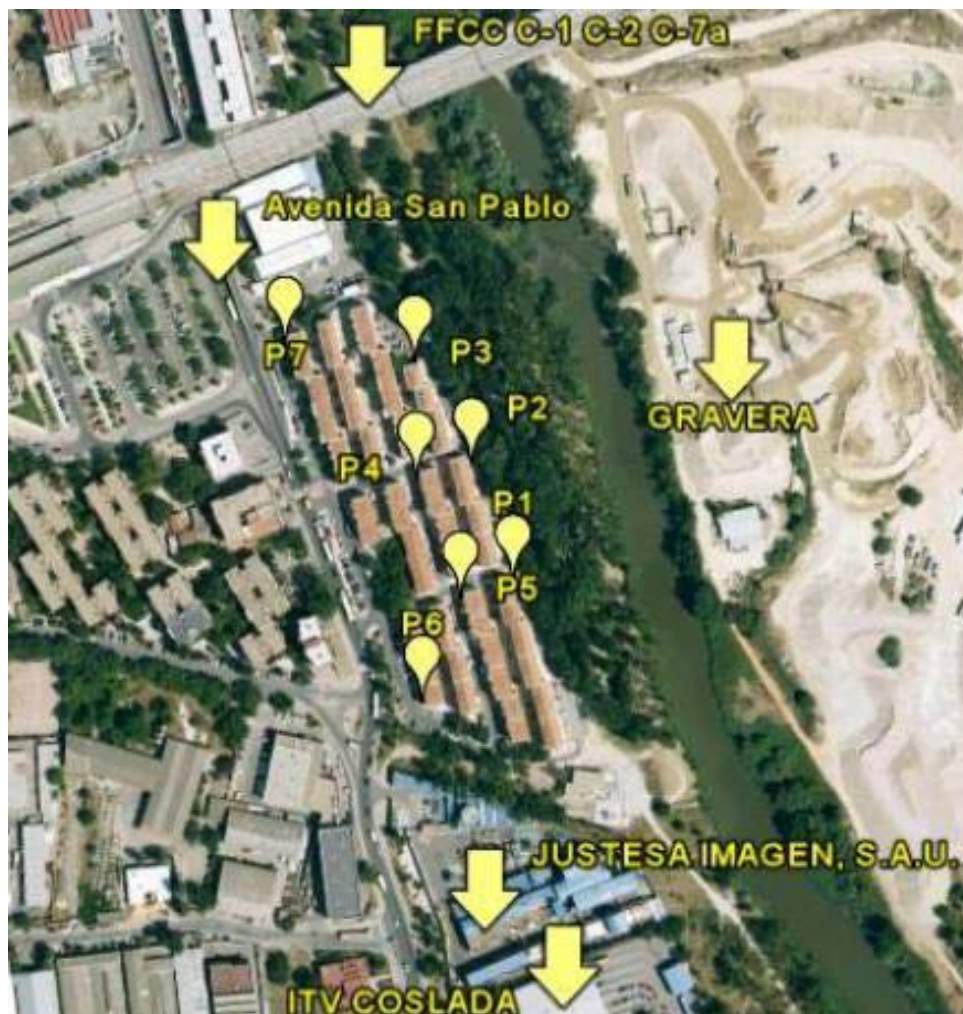


Figura 9. Puntos de muestreo. Fuente: Google Map.
Localización de los puntos de medida.

Definición de los índices de ruido utilizados

Los índices de ruido utilizados en el proyecto son:

- **Índice de ruido continuo equivalente $L_{Aeq,T}$:** Es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de T segundos, definido en la norma ISO 1996-1:1987.
- **Índice de ruido continuo equivalente corregido $L_{K_{eq},T}$:** Es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, ($L_{Aeq,T}$), corregido por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, de conformidad con la expresión siguiente:

$$L_{K_{eq},T} = L_{Aeq,T} + K_t + K_f + K_i \quad (1)$$

donde:

K_t es el parámetro de corrección asociado al índice $L_{K_{eq},T}$, para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes tonales emergentes, calculado por aplicación de la metodología descrita en el anexo VI del Real Decreto 1367/2007.

K_f es el parámetro de corrección asociado al índice $L_{K_{eq},T}$, para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes de baja frecuencia, calculado por aplicación de la metodología descrita en el anexo VI del Real Decreto 1367/2007.

K_i es el parámetro de corrección asociado al índice $L_{K_{eq},T}$, para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de ruido de carácter impulsivo, calculado por aplicación de la metodología descrita en el anexo VI del Real Decreto 1367/2007.

Altura de los puntos de evaluación de los índices de ruido

La altura seleccionada para los siete puntos estratégicos de evaluación es de **1,5 metros sobre el nivel del suelo.**

Rango de frecuencias de interés

Se realiza un estudio de los niveles de ruido generados por las fuentes de ruido presentes en la zona, analizando un amplio margen de frecuencias. Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes tonales emergentes se realiza un análisis espectral del ruido en 1/3 de octava, estudiando las siguientes bandas: de 20 a 125 Hz, de 160 a 400 Hz, y de 500 a 10.000 Hz.

Duración de las medidas

El objetivo principal del proyecto es la evaluación de las fuentes de ruido presentes en el ámbito de estudio. Para ello, la duración de la medida se limita al estudio del comportamiento de las fuentes emisoras combinadas, de lo que se desprende que los periodos de evaluación pueden ser ligeramente superiores a los definidos en el Real Decreto 1367/2007.

En la *primera campaña* de medidas realizadas en la zona de estudio, se realizan mediciones de mayor continuidad (15 minutos en cada punto) que la establecida en el Real Decreto 1367/2007 (5 minutos en cada punto), porque dicha duración asegura un determinado número de pasos, tanto de trenes como de aviones, permitiendo un análisis detallado de las huellas acústicas producidas y de la presencia de componentes tonales, de baja frecuencia e impulsividad. En la *segunda campaña* se realizan mediciones con la duración que establece el Real Decreto 1367/2007, de cinco minutos cada una, con intervalo temporal o espaciamiento mínimo de 5 minutos entre ellas, asegurando mayor representatividad del muestreo.

Un intervalo de evaluación de 15 minutos de duración se considera suficiente para realizar la evaluación de todas las fuentes de ruido combinadas, teniendo en cuenta que también es necesario realizar la evaluación del ruido residual.

En cada uno de los puntos de la Figura 9, cuya descripción se desarrolla en el apartado 3.2. “Campaña de mediciones de los niveles sonoros”, se ha realizado una medida individual, que consiste en un registro continuo de niveles sonoros de **15 minutos de duración, y cada 5 segundos se mide el nivel continuo equivalente.**

Condiciones de medición

En la realización de las mediciones para la evaluación de los niveles sonoros se guardan las siguientes precauciones:

- Antes y después de cada medición, se realiza una verificación acústica de la cadena de medición mediante calibrador sonoro, que garantice un margen de desviación no superior a 0,3 dB respecto al valor de referencia inicial.
- Las mediciones en el medio ambiente exterior se realizan usando el sonómetro con pantalla antiviento.
- Mientras dura el registro de sonido se toma nota de los eventos sonoros más importantes y durante el registro del sonido se realizaron medidas de las condiciones meteorológicas (humedad, temperatura, presión y velocidad del viento) existentes en esos instantes. En los puntos estratégicos de evaluación la velocidad del viento fue siempre inferior a 0,5 m/s, por lo que no se desiste de ninguna de las medidas.

Identificación del tipo de ruido

En el proyecto se han identificado las características principales de cada fuente de ruido. Se estima cuando el ruido existente en un punto estratégico, de muestreo, se corresponde con el ruido total de la zona, o se trata del ruido emitido por una fuente determinada.

En cuanto a las características de la fuente, se observa en la realización de la campaña de medidas, si se trata de un ruido fluctuante, si muestra periodicidad, si presenta componentes de tonalidad, impulsividad, etc. Dichas características se han apuntado en las hojas de campo.

Principales fuentes de ruido

A continuación se detallan las observaciones de mayor interés que se han tenido en cuenta a la hora de evaluar los niveles de ruido generados por las fuentes de ruido presentes en el ámbito de estudio, tales como el ruido de tráfico rodado, ruido ferroviario, ruido de aviones, etc.

- **Ruido de tráfico rodado**

Esta fuente de ruido se considera como una fuente lineal, y dependiente directamente de las condiciones del tráfico existente (tipo de vehículos, velocidades, número de carriles...).

En las hojas de campo se describen las condiciones bajo las cuales se realiza la medida. Se anotan los datos relativos a la duración del muestreo, el periodo de medida, día de la semana y hora, características de la estación (edificios, ancho calle, carriles, pavimento, etc), condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, presión) y una estimación aproximada mediante conteo de los vehículos ligeros y pesados, apuntando la hora exacta en la que se produce el paso de los mismos durante el intervalo de medición.

La medición directa del nivel de presión sonora continuo equivalente, es posible al tratarse de un ruido estable como es el caso del ruido del tráfico rodado.



Figura 10. Tráfico rodado en la Avda. San Pablo (Rotonda)



Figura 11. Tráfico rodado en la Avda. San Pablo (Avenida)

Los datos relativos al conteo de vehículos se utilizan en la Fase IV del proyecto para determinar la posible incertidumbre asociada al ensayo y responde a la siguiente expresión según la norma UNE-EN ISO 1996-2:2009:

$$X \cong \frac{10}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

donde n es el número total de vehículos que han pasado durante el intervalo de medición. La ecuación (2) se refiere al tráfico rodado mixto.

Los puntos estratégicos de muestreo P4 y P5 (situados dentro de la zona residencial objeto de estudio), junto a los puntos P6 y P7 (situados externamente a la zona residencial), son los que se plantean en el proyecto para caracterizar la Avenida San Pablo como fuente significativa de ruido residual en la zona.

- **Ruido de trenes**

En el proyecto se evalúa exclusivamente un determinado tipo de tren (Cercanías), por la frecuencia continua de paso que tiene en el barrio de “La Estación”.



Figura 12. Tráfico ferroviario en el barrio de “La Estación”

El índice de valoración que se estudia para la evaluación de esta fuente es el nivel equivalente L_{eq} , que según la norma UNE-EN ISO 1996-2:2009, la categoría de tren debe ser evaluada a partir de al menos 5 pasos de tren. En esta primera campaña de medidas se analizan 8 pasos de tren (5 en periodo día y 3 en periodo tarde).

El nivel de presión sonora continuo equivalente, L_{eqT} , del ruido de trenes se puede determinar también midiendo una serie de niveles de exposición sonora de evento único, L_{AE} , y calculando el nivel de presión sonora continuo equivalente basado en estos.

Los puntos estratégicos de muestreo P2, P3 y P7 (situados externamente a la zona residencial), son los que se plantean en el proyecto para caracterizar el ruido de los trenes de cercanías como fuente significativa de ruido intermitente en la zona.

- **Ruido de aviones**



Figura 13. Tráfico aéreo en el barrio de “La Estación”

El índice de valoración que se ha tenido en cuenta para la evaluación de esta fuente de ruido es el nivel equivalente L_{eq} .

Las mediciones consisten en el ruido del paso de cinco o más aviones de cada tipo que contribuyen de forma significativa a determinar el nivel de presión sonora. En esta primera campaña de medidas se analizan 40 pasos de aviones (27 en periodo día y 13 en periodo tarde).

Todos los puntos estratégicos de muestreo de la campaña realizada in situ, son los que se utilizan en el proyecto para caracterizar el ruido aéreo como fuente significativa de ruido intermitente en la zona.

- **Ruido industrial**

En el proyecto se realiza un análisis del ruido procedente de varias fuentes de ruido en conjunto, susceptible de provocar molestias en las zonas de uso residencial más cercanas.

Se estudia la variación temporal de la emisión de ruido de las instalaciones industriales más cercanas al uso residencial, a partir de los valores L_{eq} , midiendo un total de 15 minutos, y registrando niveles continuos equivalentes cada 5 segundos.

Durante el proceso de medida se identifica la fuente de ruido bajo estudio. Se estima si el ruido procede de la emisión de la fuente bajo estudio o del ruido de fondo. Una vez identificado, se distingue si es uniforme o sufre variaciones, en cuyo caso se estudia la periodicidad

Las instalaciones industriales se miden a una distancia lo suficientemente grande para incluir las contribuciones de ruido de las fuentes principales (sala de calderas, compresores y máquinas de aire acondicionado) en puntos ubicados en el perímetro externo de la instalación.

La actividad industrial de la gravera se mide de igual forma que las instalaciones industriales, pero el equipo de medida se coloca en el uso residencial a evaluar.

Procedimiento de medición

Para la evaluación de los índices de ruido que establece el Real Decreto 1367/2007 los procedimientos de medición in situ utilizados se ajustan a las siguientes prescripciones:

- Las mediciones se realizan aplicando métodos de muestreo del nivel de presión sonora en intervalos temporales de medida seleccionados dentro del periodo temporal de evaluación.
- En la campaña de medidas realizada in situ en el ámbito de estudio se aplican métodos de muestreo del nivel de presión sonora, para los

periodos temporales de evaluación, día y tarde, y se selecciona un intervalo temporal para cada medida de 15 minutos (900 segundos) con objeto de evaluar el ruido intermitente asociado a sucesos aislados (paso de aviones, de trenes) y el ruido residual de la zona, registrando cada cinco segundos el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A existente en la zona. El número total de medidas realizadas en dicho intervalo temporal es $n=180$, observando en la evolución del índice acústico los máximos representativos de pasos de aviones y trenes.

- Para evaluar el índice de ruido referente a los niveles sonoros producidos por todos los emisores acústicos funcionando de forma combinada, en el periodo temporal de evaluación, se utilizarán los valores de los índices $L_{Aeq,Ti}$ de cada una de las medidas realizadas, aplicando la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,Ti}} \right) \quad (3)$$

donde:

T , es el tiempo en segundos correspondiente al periodo temporal de evaluación considerado.

T_i : intervalo de tiempo de la medida i .

n , es el número de mediciones del conjunto de las series de mediciones realizadas en el periodo de tiempo de referencia T .

El valor del nivel sonoro resultante, se redondeará incrementándolo en 0,5 dB(A), tomando la parte entera como valor resultante.

Niveles de evaluación

El nivel de evaluación (L_E) se determinará en base al mayor valor del $L_{Aeq,T}$ de las mediciones efectuadas.

A partir del valor obtenido en la medición se determina el nivel de evaluación L_E de acuerdo a la siguiente expresión:

$$L_E = L_{Aeq,T} + \sum K_i \quad (4)$$

donde:

$L_{Aeq,T}$: es el nivel continuo equivalente ponderado A durante el tiempo de medición T, una vez aplicada la corrección por ruido de fondo, cuando ésta corresponda.

$\sum K_i$: correcciones por componentes tonales (K_t), impulsivas (K_i) y bajas frecuencias (K_f).

El valor máximo de la corrección resultante de la suma $K_t + K_i + K_f$ no será superior a 9 dB.

Atendiendo a las normas específicas desarrolladas en el Real Decreto 1367/2007, para la evaluación de los índices de ruido referentes a los niveles sonoros producidos por infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias, *no es necesario corregir el índice de ruido continuo equivalente por la presencia de componentes tonales emergentes, de baja frecuencia y de carácter impulsivo*. Sin embargo en el proyecto sí se han estudiado, tanto para el ruido de trenes como de aviones, la presencia de componentes tonales y de baja frecuencia. En el apartado 3.3 “Resultados obtenidos” se obtienen dichas correcciones para cada uno de los pasos de trenes y aviones.

Para la evaluación de fuentes de emisión presentes en el entorno como actividades o instalaciones industriales, cuando al procesar la señal registrada se detecte la presencia de componentes tonales, impulsivas y de baja frecuencia o cualquier combinación de ellas, se procede a realizar una evaluación detallada del ruido aplicando las correcciones adecuadas que marca el Real Decreto 1367/2007.

Corrección por componentes tonales emergentes

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes tonales emergentes se toma como procedimiento de referencia el siguiente:

- a) Se realiza el análisis espectral del ruido en 1/3 de octava, sin filtro de ponderación.
- b) Se calcula la diferencia:

$$L_t = L_f - L_s \quad (5)$$

donde:

L_f , es el nivel de presión sonora de la banda f , que contiene el tono emergente.

L_s , es la media aritmética de los dos niveles siguientes, el de la banda situada inmediatamente por encima de f y el de la banda situada inmediatamente por debajo de f .

- c) Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales y el valor del parámetro de corrección K_t aplicando la tabla siguiente:

Banda de frecuencia		Componente tonal
1/3 de octava	L_t en dB	K_t en dB
De 20 a 125 Hz	Si $L_t < 8$	0
	Si $8 \leq L_t \leq 12$	3
	Si $L_t > 12$	6
De 160 a 400 Hz	Si $L_t < 5$	0
	Si $5 \leq L_t \leq 8$	3
	Si $L_t > 8$	6
De 500 a 10.000 Hz	Si $L_t < 3$	0
	Si $3 \leq L_t \leq 5$	3
	Si $L_t > 5$	6

Tabla. X. Parámetro de corrección K_t

- d) En el supuesto de la presencia de más de una componente tonal emergente se adopta como valor del parámetro K_t , el mayor de los correspondientes a cada una de ellas.

Corrección por componentes impulsivos

En el punto P6 no se detectan incrementos importantes de niveles de presión sonora procedentes de pitidos de vehículos de la ITV Coslada.

Tampoco se han detectado componentes impulsivos en las medidas realizadas en el resto de puntos estratégicos.

Corrección por componentes de baja frecuencia

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes de baja frecuencia se toma como procedimiento de referencia el siguiente:

- a) Se mide de forma simultánea, los niveles de presión sonora con las ponderaciones frecuenciales A y C.
- b) Se calcula la diferencia entre los valores obtenidos debidamente corregidos por ruido de fondo:

$$Lf = L_{Ceq,Ti} - L_{Aeq,Ti} \quad (6)$$

- c) Se determina la presencia o ausencia de componentes de baja frecuencia y el valor del parámetro de corrección K_f aplicando la tabla siguiente:

<i>Lf en dB</i>	Componente de baja frecuencia
	K_f en dB
Si $Lf \leq 10$	0
Si $10 > Lf \leq 15$	3
Si $Lf > 15$	6

Tabla. XI. Parámetros de corrección K_f .

3.1.2. Consideraciones ambientales

La Norma UNE-EN ISO 1996-2:2009 analiza de forma exhaustiva la influencia de las condiciones meteorológicas en la realización de una medida propiamente medioambiental. En este proyecto no se han realizado mediciones con un intervalo de tiempo a largo plazo, por lo que la repetibilidad en cuanto a valores cuantificados de los parámetros climatológicos no es importante para la evaluación de los niveles sonoros.

En la campaña de medidas realizadas “in situ” se han anotado en las hojas de campo las condiciones bajo las cuales se han llevado a cabo, midiendo temperatura (°C), presión (mBar), humedad relativa (%), y velocidad del viento (m/s).

Se han realizado las medidas bajo condiciones atmosféricas reproducibles asegurando condiciones de propagación sonora bastante estables, con el fin de comparar los resultados.

También se han tenido en cuenta las características de la estación (edificios, ancho de la calle, carriles, etc), así como la superficie (suelo) donde se han realizado las medidas, y se han descrito las características del mismo.

Se puede diferenciar la superficie del suelo por su dureza, considerando suelos duros y suelos blandos.

Los niveles de presión sonora varían con las condiciones climatológicas, pero esta variación se ve minimizada, para el caso de suelos blandos, si se cumple la siguiente ecuación:

$$\frac{h_s + h_r}{r} \geq 0.1 \quad (7)$$

donde:

h_s : es la altura de la fuente;

h_r : es la altura del receptor;

r : es la distancia entre la fuente y el receptor.

Si el suelo es duro, se aceptan distancias de propagación mayores.

En este proyecto se han realizado todas las medidas con trípode apoyado sobre suelo duro, y en ambiente exterior.

Además se han efectuado siempre con la bola antiviento situada en el micrófono.

3.2. Primera campaña de mediciones de los niveles sonoros

3.2.1. Planteamiento general

Para el análisis del escenario acústico actual en el ámbito de estudio se ha realizado una campaña de medición de niveles sonoros en ambiente exterior que pretende conocer los niveles de ruido existentes en la zona, con el objetivo de validar la cartografía de ruidos realizada en la Fase 2 y el modelo empleado para el estudio de los niveles de presión sonora.

3.2.2. Plan de muestreo

Se han elegido siete puntos estratégicos de control de ruido en el perímetro externo de la zona residencial a estudiar, teniendo en cuenta las fuentes de ruido indicadas. La denominación y descripción de los puntos estratégicos son las siguientes:

- **Punto P1:** Ubicado en la calle Isleta, paralela a la avenida San Pablo y al río Jarama. Principal fuente de ruido residual: la actividad de la gravera ubicada en el término municipal de San Fernando de Henares, y situada en frente de los edificios residenciales objeto de estudio. Principal fuente de ruido intermitente: el ruido procedente del paso de aviones. A continuación se adjuntan fotografías de la medida realizada “in situ”, en frente de edificio residencial.





Figura 14. Medida en punto P1

- **Punto P2:** Al igual que el punto P1, está situado en la calle Isleta. Principal fuente de ruido residual: la actividad de la gravera, situada en frente de los edificios residenciales objeto de estudio. Principales fuentes de ruido intermitente: el ruido procedente del paso de trenes y aviones. A continuación se adjuntan fotografías de la medida realizada “in situ”, en frente de edificio residencial.





Figura 15. Medida en punto P2

- **Punto P3:** Al igual que los puntos anteriores, también ubicado en la calle Isleta. Principal fuente de ruido residual: la actividad de la gravera, situada en frente de los edificios residenciales objeto de estudio. Principales fuentes de ruido intermitente: el ruido procedente del paso de trenes y de aviones. A continuación se adjuntan fotografías de la medida realizada “in situ”, en frente de edificio residencial.





Figura 16. Medida en punto P3

- **Punto P4:** Ubicado en la calle Palestina, paralela a la avenida San Pablo, y situado entre edificios de uso residencial. Principal fuente de ruido residual: el tráfico rodado de la avenida San Pablo. Principales fuentes de ruido intermitente: el ruido procedente del paso de aviones, y en menor medida el de paso de trenes. A continuación se adjunta fotografía de la medida realizada “in situ”, en frente de edificio residencial.



Figura 17. Medida en punto P4

- **Punto P5:** Al igual que el punto P4, ubicado en la calle Palestina y situado en el interior del uso residencial. Principal fuente de ruido residual: el tráfico rodado de la avenida San Pablo. Principales fuentes de ruido intermitente: el ruido procedente del paso de aviones, y en menor medida el de paso de trenes. A continuación se adjuntan fotografías de la medida realizada “in situ”, en frente de edificio residencial.



Figura 18. Medida en punto P5

- **Punto P6:** Ubicado en la avenida San Pablo, en frente de la rotonda. Principales fuente de ruido residual: el tráfico rodado de la avenida San Pablo, y en menor medida el ruido procedente de focos fijos industriales

colindantes con la zona residencial. Principal fuente de ruido intermitente: el ruido procedente del paso de aviones. A continuación se adjunta fotografía de la medida realizada “in situ”, en frente de edificio residencial.



Figura 19. Medida en punto P6

- **Punto P7:** Ubicado en la avenida San Pablo, justo en frente de la entrada al paso subterráneo. Principal fuente de ruido residual: el tráfico rodado de la avenida San Pablo. Principales fuentes de ruido intermitente: el ruido procedente del paso de trenes y aviones. A continuación se adjunta fotografía de la medida realizada “in situ”, en frente de edificio residencial.



Figura 20. Medida en punto P7

3.2.3. Instrumentación utilizada

Para realizar la campaña de medición “in situ” se dispone de la siguiente instrumentación:

- Equipo de medición: sonómetro tipo 1 Brüel & Kjaer, Modelo 2260, en los que se han realizado las calibraciones y verificaciones legales correspondientes (Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007).

- Equipo para la comprobación de sonómetros: calibrador Brüel & Kjaer, Modelo 4231, en el que se han realizado las calibraciones y verificaciones legales correspondientes (Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007)
- Metro convencional.
- Trípode convencional.
- Ordenador personal Toshiba para volcar los datos almacenados en el sonómetro, tras la toma de medidas, mediante el uso del software del sonómetro.
- Software de análisis de sonido extendido Brüel & Kjaer BZ7202 revisión 2.0.
- Software de Espectros sonoros para aplicación de las correcciones por componentes tonales emergentes.
- Datos meteorológicos: La información meteorológica se ha obtenido con los siguientes instrumentos:
 - Anemómetro Testo, modelo 415.
 - Termómetro-Higrómetro-Barómetro Oregon Scientific, modelo BAR988HGT





Figura 21. Equipos utilizados: Sonómetro, trípode, estación meteorológica, calibrador, y anemómetro

3.2.4. Volcado de datos

El presente apartado tiene por objeto describir el manejo del software de tratamiento de datos de salida del sonómetro de precisión tipo 2260 (Brüel & Kjær), una vez realizadas las mediciones de campo.

El software consta de tres programas:

- **Software I: 2260 Investigator Communication Link**

Es un software de comunicación en PC, que ayuda a la obtención de las mediciones del sonómetro de precisión tipo 2260. Se utiliza este programa para:

- a. Transferir resultados de mediciones almacenadas en el sonómetro a un archivo en el PC con extensión “*.txt”, para su procesamiento en el Software II.
- b. Crear un enlace fácil entre los datos del sonómetro y Microsoft Excel.
- c. Verificar que la comunicación entre el PC y el sonómetro está funcionando.

Los botones de función transfieren los resultados de mediciones almacenadas en el sonómetro a un archivo de texto en el PC.

Su interfaz y manejo se describe a continuación:

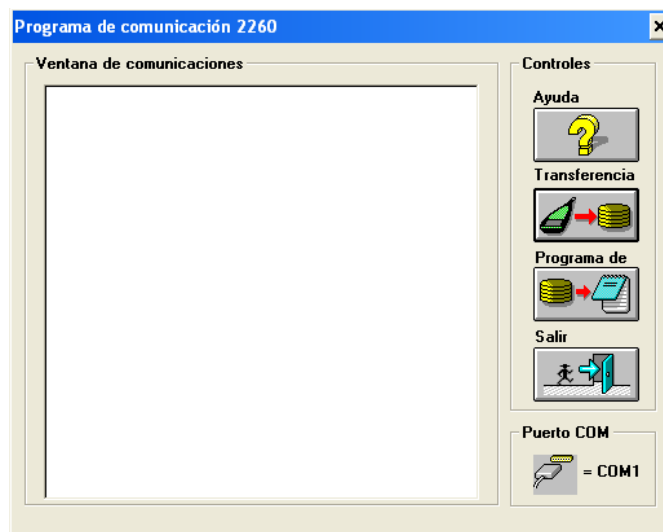


Figura 22. Interfaz Software I

Manejo:

0. Se conecta el sonómetro al ordenador mediante Cable interfaz. Es conveniente que el sonómetro esté apagado para evitar que el instrumento se dañe.



1. Se pulsa acceso directo al programa

2. Se pulsa botón de transferencia. Una ventana de diálogos “Abrir archivo” estándar de Windows permite dar nombre al archivo al que se transfieren los resultados.

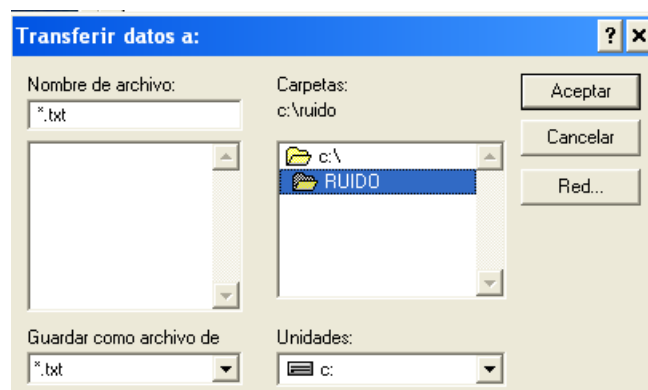


Figura 23. Ventana de transferencia de datos

3. Una vez nombrado el archivo se acepta. Antes de realizar el siguiente paso se comprueba en el Modo Configuración del sonómetro, y en la opción Impresión/Salida que: Tipo fichero=Hoja Cálculo, y Separador=tab (separación de los niveles con tabuladores).
4. Con el sonómetro encendido, se pulsa la tecla con función: Recuperar del sonómetro.
5. Se busca directorio de almacenamiento de las medidas, y se ubica dentro de dicho directorio donde se puedan visualizar las mediciones.
6. Se pulsa la tecla de función del sonómetro "SI".
7. Se pulsa tecla con función: Transferir del sonómetro.
8. Se comienza el proceso de descarga de todos los archivos de medidas del directorio creado en sonómetro.
9. Una vez realizado todo el proceso de descarga, cerciorarse que el archivo está guardado en la ubicación correspondiente, y con la extensión "*.txt" (formato del bloc de notas).
10. Se pulsa botón de transferencia del programa nuevamente, y se activará botón de salir. Se pulsa salir.
11. Se apaga el sonómetro.
12. Se desconecta el cable interfaz.

- **Software II: Programa de salida de gráficos y descarga de datos en documento " *.doc")**

Es un software de salida de gráficos (representación de los niveles de presión sonora en dB(A) en función del tiempo t en horas) de las mediciones realizadas en campo.

Se utiliza este programa para:

- Descarga de todos los datos de mediciones en archivo con extensión “*.doc”.
- Descarga de los gráficos asociados a los datos de dichas mediciones.

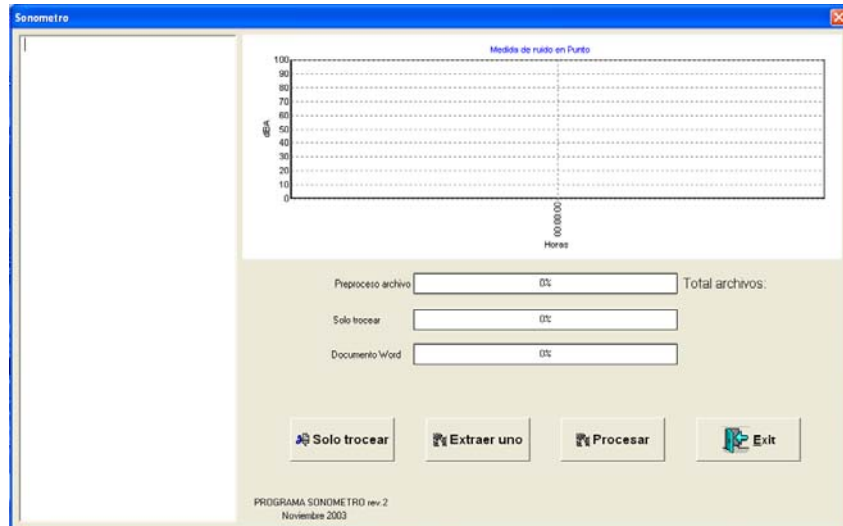


Figura 24. Interfaz Software II

- Software III: Programa para cargar espectro de medida y calcular penalizaciones por componentes tonales emergentes**

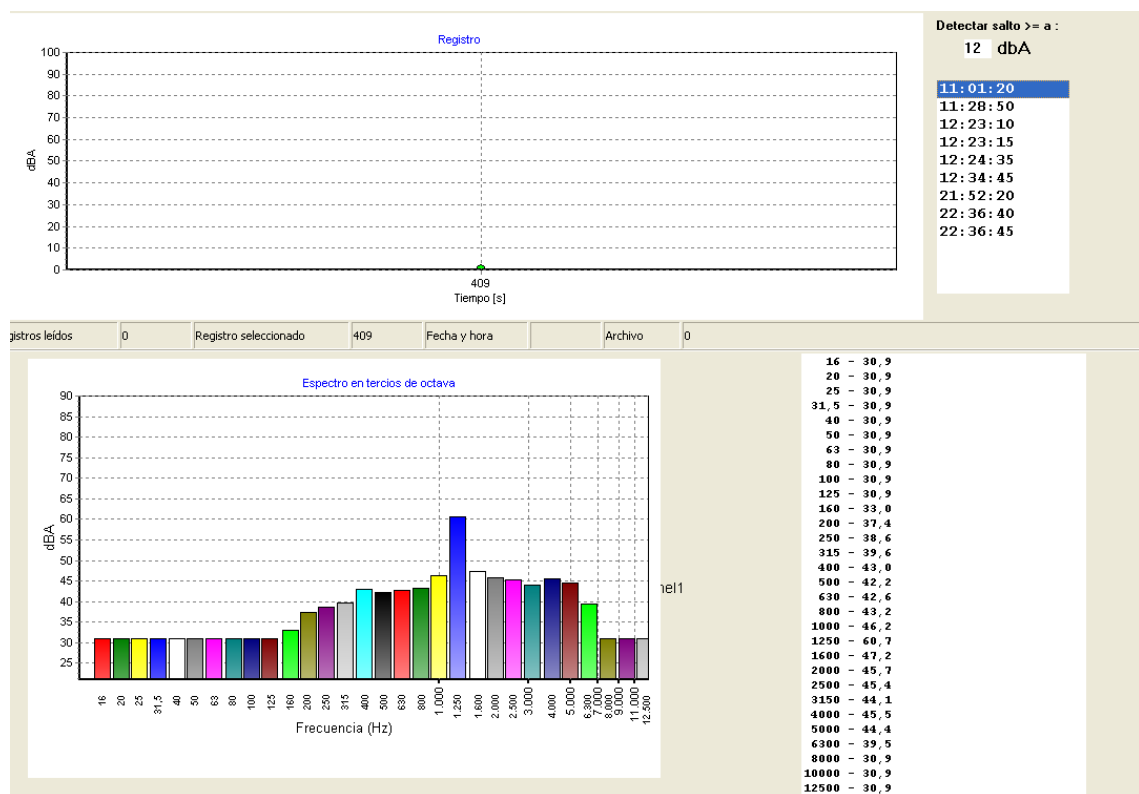


Figura 25. Interfaz Software III

Es un software que selecciona y carga el espectro de una medida (en formato “.txt”).

Se utiliza este programa para determinar la presencia de componentes tonales emergentes.

3.3. Resultados de las medidas

A continuación se adjuntan los resultados de las medidas en los siete puntos estratégicos de muestreo escogidos, tomando en cada punto una muestra de 15 minutos de duración que registra cada 5 segundos el nivel continuo equivalente.



Figura 26. Puntos estratégicos de muestreo

La estructura de exposición de los resultados se realiza de la siguiente forma:

- Información correspondiente a la estación de medida.
- Información correspondiente a las características de la estación.
- Información correspondiente a las condiciones meteorológicas.
- Resultados correspondientes al muestreo de 15 minutos
- Observaciones durante la medida

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	455.056,20	4.477.042,14	1,5 m	P1
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Actividad de la gravera Ruido intermitente: Paso de aviones			
Periodo temporal	DIA		Archivo:	0001.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Calle Isleta/1 carril

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
19,3	44	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	4	Nº de aviones:	4
Conteo vehículos pesados:	1	Nº de trenes:	0

Maquinaria trabajando en gravera de inicio a fin de la medida. Desde el punto de muestreo se escucha la sirena de aviso “marcha atrás”.

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero: 0001,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 10:20:14
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgama 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	67,2
L99	52,5
L90	53,4
L50	54,5
L10	64,7
L1	80,7
Lmax	81,6
Lmin	52,1

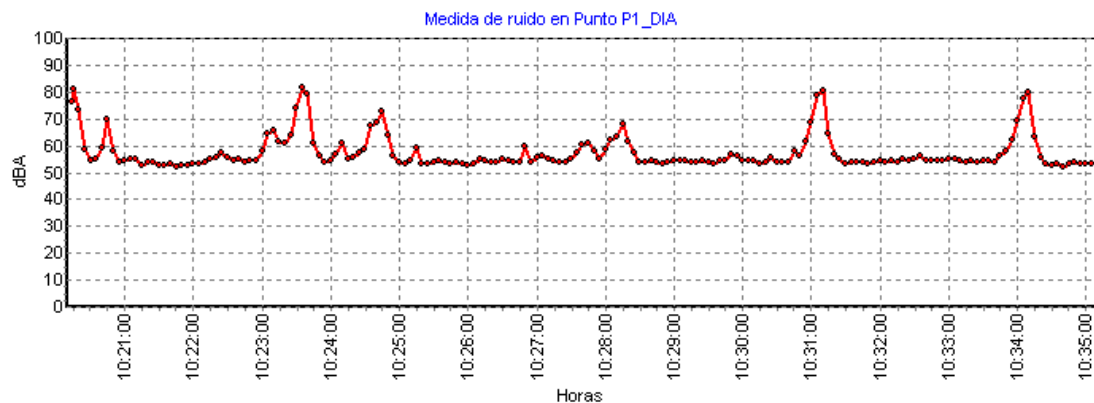


Figura 27. Medida de 15 minutos. Punto P1. Periodo día.

Observaciones:

10:20:15	Paso de avión
10:23:35	Paso de avión
10:24:00	Maquinaria trabajando en gravera. Sirena de marcha atrás.
10:25:00	Camión de las bombonas pitando.
10:31:10	Paso de avión
10:34:10	Paso de avión
10:28:00	Ruido de bombonas. Se va el camión y arranca.

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	455.040,73	4.477.109,38	1,5 m	P2
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Actividad de la gravera Ruido intermitente: Paso de aviones y trenes			
Periodo temporal	DIA		Archivo:	0002.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Calle Isleta/1 carril

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
20,2	42	0,2	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	2	Nº de aviones:	5
Conteo vehículos pesados:	0	Nº de trenes:	2

Movimiento de maquinaria de gravera durante toda la medida

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero: 0002,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 10:39:07
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgamma 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	69,8
L99	57,2
L90	57,7
L50	59,5
L10	66,8
L1	81,2
Lmax	88,5
Lmin	57,0

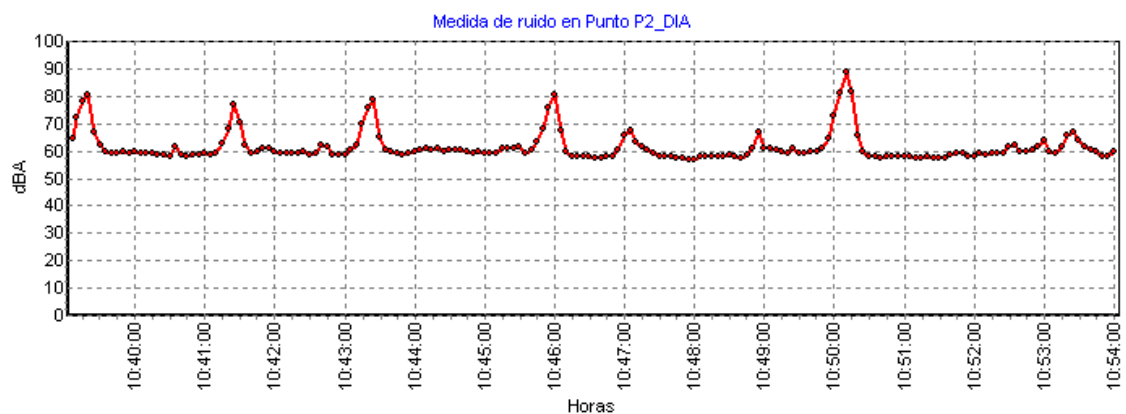


Figura 28. Medida de 15 minutos. Punto P2. Periodo día.

Observaciones:

10:39:20	Paso de avión
10:41:25	Paso de avión
10:43:25	Paso de avión
10:46:00	Paso de avión
10:47:05	Paso de tren
10:49:00	Paso de un coche por la calle Isleta

10:50:10 Paso de avión
10:53:25 Paso de tren

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	455.018,81	4.477.164,39	1,5 m	P3
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Actividad de la gravera Ruido intermitente: Paso de aviones y trenes			
Periodo temporal	DIA		Archivo:	0003.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Calle Isleta/1 carril

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
19,3	48	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	1	Nº de aviones:	5
Conteo vehículos pesados:	0	Nº de trenes:	1

En la medida hay gritos de una mujer dentro de casa, al comienzo y a las 11:04:15

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero: 0003,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 10:57:27
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgamma 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	66,2
L99	52,2
L90	52,7
L50	54,5
L10	63,5
L1	77,3
Lmax	84,9
Lmin	51,9

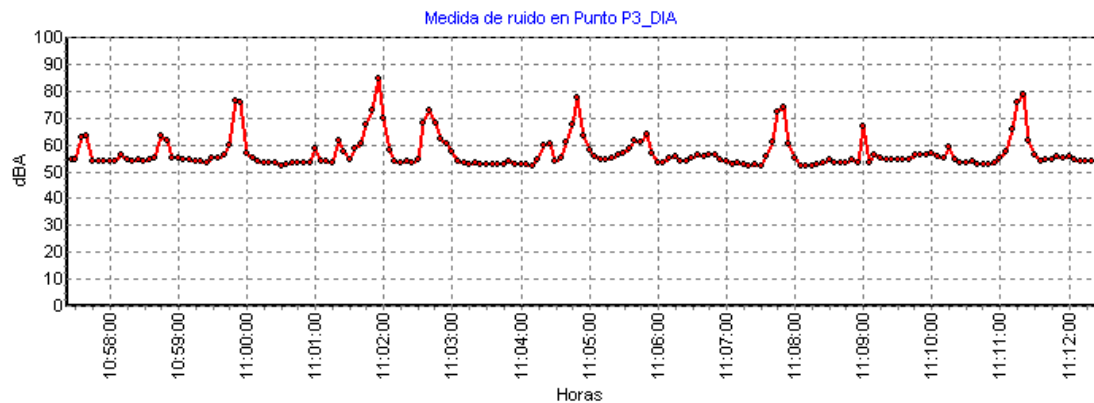


Figura 29. Medida de 15 minutos. Punto P3. Periodo día.

Observaciones:

10:59:50	Paso de avión
11:01:55	Paso de avión
11:02:40	Paso de tren
11:04:50	Paso de avión
11:07:50	Paso de avión
11:11:20	Paso de avión

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	455.010,48	4.477.103,05	1,5 m	P4
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Tráfico rodado Av. San Pablo Ruido intermitente: Paso de aviones y trenes			
Periodo temporal	DIA		Archivo:	0004.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Calle Palestina/1 carril

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
22,7	40	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	212	Nº de aviones:	3
Conteo vehículos pesados:	17	Nº de trenes:	0

Durante la realización de la medida se hace un conteo de vehículos de la Calle Palestina (14 ligeros) y Avenida San Pablo (198 ligeros y 17 pesados).

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero :0004,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 11:25:54
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgamma 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	66,5
L99	52,9
L90	55,9
L50	58,7
L10	65,2
L1	80,4
Lmax	81,7
Lmin	51,3

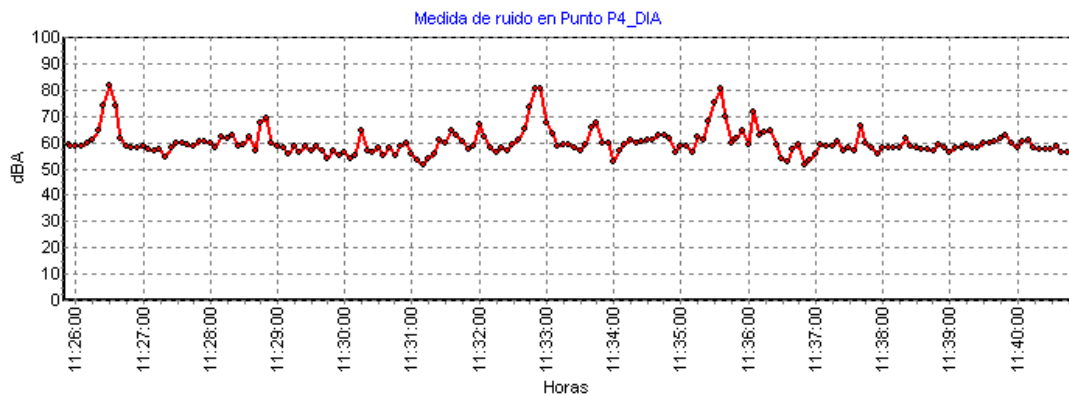


Figura 30. Medida de 15 minutos. Punto P4. Periodo día.

Observaciones:

11:26:30	Paso de avión
11:28:45	Niña gritando
11:32:55	Paso de avión
11:35:35	Paso de avión

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	455.025,86	4.477.036,29	1,5 m	P5
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Tráfico rodado Av. San Pablo Ruido intermitente: Paso de aviones y trenes			
Periodo temporal	DIA		Archivo:	0005.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Calle Palestina/1 carril

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
22,8	40	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	223	Nº de aviones:	2
Conteo vehículos pesados:	16	Nº de trenes:	0

Durante la realización de la medida se hace un conteo de vehículos de la Calle Palestina (3 ligeros) y Avenida San Pablo (220 ligeros y 16 pesados).

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero :0005,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 11:45:46
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgama 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	61,8
L99	49,8
L90	51,7
L50	54,2
L10	59,8
L1	74,0
Lmax	79,4
Lmin	49,6



Figura 31. Medida de 15 minutos. Punto P5. Periodo día.

Observaciones:
11:49:30 Paso de avión
11:57:05 Paso de avión

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	454.998,57	4.476.980,91	1,5 m	P6
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Tráfico rodado Av. San Pablo y ruido procedente de actividad industrial Ruido intermitente: Paso de aviones			
Periodo temporal	DIA		Archivo:	0006.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Avenida San Pablo/3 carriles

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
22,2	41	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	297	Nº de aviones:	5
Conteo vehículos pesados:	26	Nº de trenes:	0

Durante la realización de la medida se hace un conteo de vehículos de la Avenida San Pablo. Velocidad de los vehículos: Muy lenta o parados.

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero: 0006,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 12:10:57
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgamma 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	65,8
L99	51,9
L90	56,6
L50	61,3
L10	67,0
L1	77,0
Lmax	79,0
Lmin	49,9



Figura 32. Medida de 15 minutos. Punto P6. Periodo día.

Observaciones:

12:12:50	Paso de avión
12:17:00	Paso de avión
12:19:40	Paso de avión
12:23:00	Paso de avión
12:25:20	Paso de avión

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	454.950,34	4.477.183,41	1,5 m	P7
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Tráfico rodado Av. San Pablo Ruido intermitente: Paso de aviones y trenes			
Periodo temporal	DIA		Archivo:	0007.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Avenida San Pablo/3 carriles

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
22,3	41	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	233	Nº de aviones:	4
Conteo vehículos pesados:	17	Nº de trenes:	2

Durante la realización de la medida se hace un conteo de vehículos de la Avenida San Pablo. Velocidad entrada/salida del túnel: 55-60 km/h

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero :0007,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 12:32:16
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgama 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	67,3
L99	57,3
L90	60,5
L50	63,6
L10	68,5
L1	76,3
Lmax	79,9
Lmin	54,8



Figura 33. Medida de 15 minutos. Punto P7. Periodo día.

Observaciones:

12:37:45	Paso de avión
12:40:30	Paso de avión
12:42:00	Paso de avión
12:42:15	Paso de avión
12:44:25	Paso de tren
12:45:00	Paso de tren

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	455.056,20	4.477.042,14	1,5 m	P1
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Actividad de la gravera Ruido intermitente: Paso de aviones			
Periodo temporal	TARDE		Archivo:	0008.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Calle Isleta/1 carril

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
25,4	29	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	2	Nº de aviones:	4
Conteo vehículos pesados:	0	Nº de trenes:	1

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero :0008,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 21:46:58
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgamma 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	63,8
L99	44,9
L90	46,5
L50	50,6
L10	62,6
L1	76,5
Lmax	79,7
Lmin	44,2

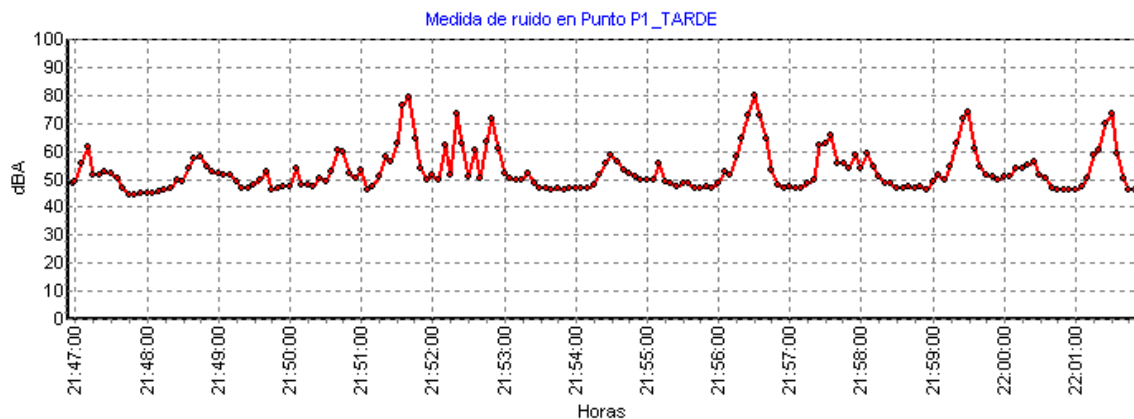


Figura 34. Medida de 15 minutos. Punto P1. Periodo tarde.

Observaciones:

21:48:45	Paso de tren
21:51:40	Paso de avión
21:52:20	Gente gritando
21:56:30	Paso de avión
21:57:20	Paso de un coche
21:58:00	Gente hablando
21:59:30	Paso de avión
22:01:30	Paso de avión

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	455.025,86	4.477.036,29	1,5 m	P5
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Tráfico rodado Av. San Pablo Ruido intermitente: Paso de aviones y trenes			
Periodo temporal	TARDE		Archivo:	0009.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Calle Palestina/1 carril

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
23,7	30	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	83	Nº de aviones:	3
Conteo vehículos pesados:	4	Nº de trenes:	0

Durante la realización de la medida se hace un conteo de vehículos de la Calle Palestina (6 ligeros) y Avenida San Pablo (77 ligeros y 4 pesados).

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero :0009,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 22:05:56
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgamma 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	63,5
L99	47,6
L90	49,3
L50	52,8
L10	62,2
L1	77,1
Lmax	79,8
Lmin	47,2

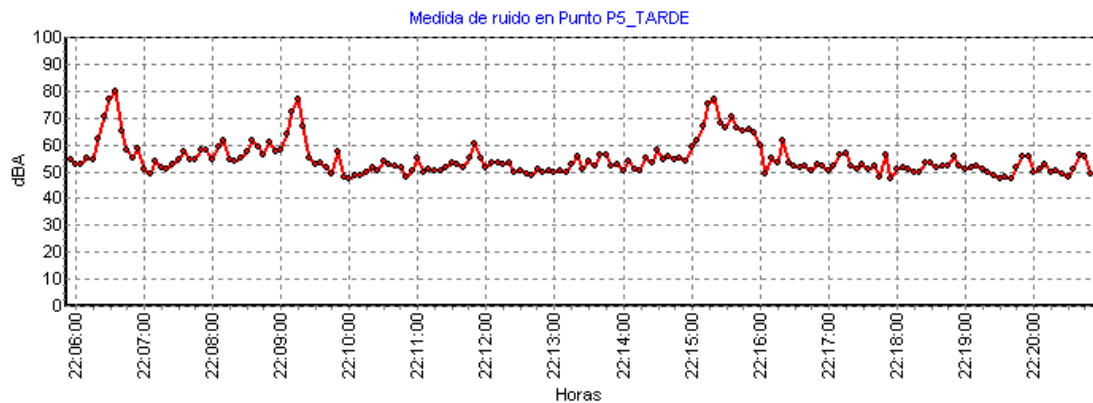


Figura 35. Medida de 15 minutos. Punto P5. Periodo tarde.

Observaciones:
22:06:35 Paso de avión
22:09:15 Paso de avión
22:15:20 Paso de avión

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	454.998,57	4.476.980,91	1,5 m	P6
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Tráfico rodado Av. San Pablo y ruido procedente de actividad industrial Ruido intermitente: Paso de aviones			
Periodo temporal	TARDE		Archivo:	0010.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Avenida San Pablo/3 carriles

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
23,6	32	0,0	948	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	49	Nº de aviones:	5
Conteo vehículos pesados:	4	Nº de trenes:	0

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero :0010,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 22:34:04
Tiempo Transcurrido 0:15:00
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgamma 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	62,7
L99	46,3
L90	52,0
L50	56,7
L10	64,3
L1	75,0
Lmax	76,1
Lmin	45,4

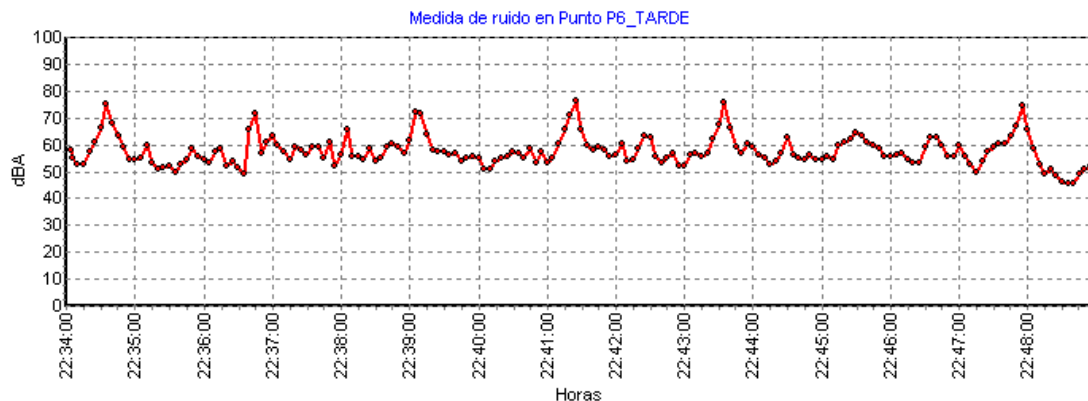


Figura 36. Medida de 15 minutos. Punto P6. Periodo tarde.

Observaciones:
22:34:35 Paso de avión
22:39:05 Paso de avión
22:41:25 Paso de avión
22:43:35 Paso de avión
22:47:55 Paso de avión

INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

LOCALIZACIÓN	X(m)	Y(m)	Altura de medición	Punto de medición
Coordenadas UTM	454.950,34	4.477.183,41	1,5 m	P7
Fuentes sonoras evaluadas	Ruido residual: Tráfico rodado Av. San Pablo Ruido intermitente: Paso de aviones y trenes			
Periodo temporal	TARDE		Archivo:	0011.S3D

INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo de pavimento	Duro. Losa de acera.
Nombre Calle/Número carriles	Avenida San Pablo/3 carriles

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Temperatura (°C)	Humedad (HR%)	Velocidad aire (m/s)	P. atmosférica (mBar)	Condiciones climáticas
22,5	32	0,0	949	Muy buenas

OBSERVACIONES DURANTE LA MEDIDA

Conteo vehículos ligeros:	52	Nº de aviones:	1
Conteo vehículos pesados:	2	Nº de trenes:	3

A las 23:08 se producen ladridos de un perro

Brüel & Kjær
Analizador Modular 2260
Programa de Análisis Sonoro BZ7210

Fichero :0011,S3D/0001

Configuración:
Rango 30,9 / 110,9 dB
Incidencia Sonora Frontal
Picos Sobre 140,0 dB

Resultados Globales:
2013 May 13 22:56:18
Tiempo Transcurrido 0:14:57
Número de Pausas
Saturación 0,0
Subgama 0,0

Número de Picos (A) 0
Número de Picos (C) 0

LAeq	62,3
L99	45,1
L90	50,2
L50	58,8
L10	64,1
L1	71,2
Lmax	78,4
Lmin	44,3

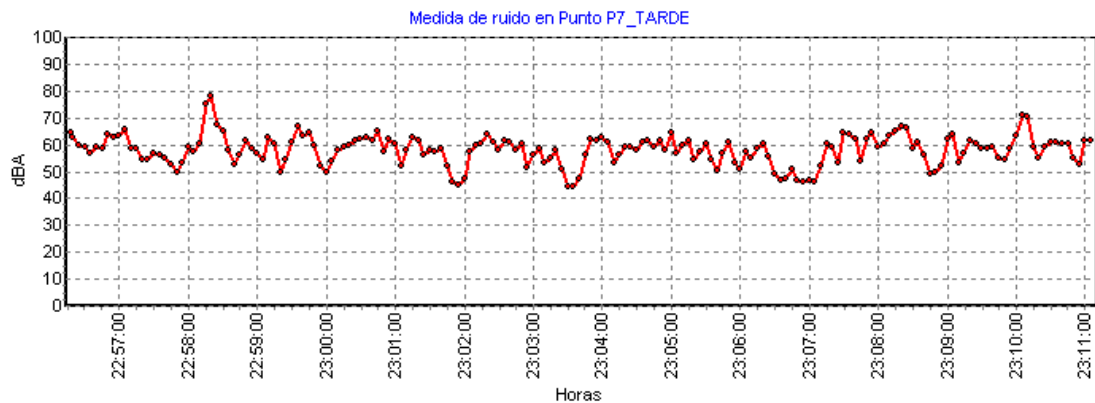


Figura 37. Medida de 15 minutos. Punto P7. Periodo tarde.

Observaciones:
22:58:20 Paso de avión
23:04:00 Paso de tren
23:05:00 Paso de tren
23:08:20 Paso de tren

3.3.1. Caracterización del ruido de la zona

Para evaluar el ruido ambiental existente en la zona de estudio es necesario analizar, por un lado, el ruido residual, y por otro el ruido intermitente asociado a sucesos aislados. En el apartado 3.1.1. “Consideraciones generales de la normativa”, se comenta que para evaluar el índice de ruido referente a los niveles sonoros producidos por todos los emisores acústicos funcionando de forma combinada, se utiliza el índice $L_{Aeq,T}$ (**índice de ruido continuo equivalente**).

El **nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A** ($L_{Aeq,T}$), como indicador del ruido ambiental, es un índice relativamente complejo que plantea algunos problemas de comprensión por parte del público general. No corresponde, tal y como se cree a menudo, a una simple media aritmética de los niveles sonoros instantáneos. El $L_{Aeq,T}$ realiza la suma de la energía acústica recibida durante el intervalo de tiempo. Dicho intervalo sería T=15 minutos en la primera campaña de medidas realizadas “in situ”, y T=5 minutos en la segunda campaña.

La principal fuente de ruido en el ámbito de estudio es el ruido intermitente asociado al sobrevuelo de aviones procedente del aeropuerto de Barajas. En el proyecto se usa el $L_{Aeq,T}$ como indicador de las molestias de ruido generado en el entorno, en el que se consideran de forma conjunta todas las posibles fuentes de ruido. La utilización del $L_{Aeq,T}$ como indicador del ruido en los campos de exposición ocupacional, ruido de los transportes terrestres, ruido en ambientes exteriores, etc., permite establecer comparaciones y agregar fácilmente los niveles procedentes de distintas fuentes.

Las ventajas que ofrece este indicador son las siguientes:

- Es un índice relativamente sencillo de comprender, en comparación con otros índices.
- Es un índice que mide un concepto acústico muy claro: la energía media durante un determinado periodo de tiempo.
- Es un índice que permite establecer comparaciones y agregar niveles procedentes de diversas fuentes.
- Es el índice más utilizado en las evaluaciones de impacto ambiental.

- Las directivas europeas y las normas CEN utilizan el $L_{Aeq,T}$.
- Es un índice que permite considerar diferentes periodos de tiempo para la evaluación del impacto.
- Es un índice que permite comparar los niveles originados por una determinada fuente con los niveles de fondo ambientales existentes en una determinada zona.
- Es un índice que se puede obtener directamente de los instrumentos de medida.

Por todas estas consideraciones, y porque el Real Decreto 1367/2007 así lo contempla en sus métodos de evaluación, se realiza la evaluación del ruido ambiental en la zona objeto de este proyecto con este indicador.

Como se comenta anteriormente, el intervalo temporal de medición en cada punto ha sido de **15 minutos** en la primera campaña realizada, configurando el sonómetro con un periodo de medida del nivel continuo equivalente de **5 segundos**. En la segunda campaña los intervalos temporales de medición fueron de **5 minutos**, con espaciamiento mínimo entre las medidas de al menos 5 minutos, y configurando el sonómetro con un periodo de medida del nivel continuo equivalente de **5 segundos**. De esta forma se cubren las variaciones significativas en la emisión y propagación del ruido.

En la medición de ruido de sucesos aislados (por ejemplo el sobrevuelo de aviones, durante los cuales el ruido varía durante el sobrevuelo pero está ausente durante una parte considerable del intervalo temporal de referencia), el intervalo de almacenamiento o resolución de 5 segundos escogido es bueno para poder determinar el nivel de exposición sonora, L_{AE} , del suceso aislado.

El **nivel de exposición sonora (L_{AE})**, se define como el nivel de presión sonora de un ruido continuo que tiene la misma energía en un segundo que la del ruido real durante el intervalo de tiempo T (en que se produce el evento sonoro). Se utiliza para clasificar y comparar sucesos de ruido de diferente duración. Este índice también lo miden los sonómetros integradores. Se puede expresar fácilmente de la siguiente forma:

$$L_{AE} = 10 \cdot \log \left[\int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_i}{10}} \cdot dt \right] dB(A) \quad (8)$$

donde:

L_i : nivel sonoro L_{Ai} (nivel equivalente en cada periodo $t_i=5$ s)

$\sum t_i$ = tiempo real de exposición

La relación entre el $L_{Aeq,T}$ y el L_{AE} para un suceso de ruido es:

$$L_{AE}(t) = L_{Aeq}(T) + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (9)$$

Donde $T_0=1$ segundo

El nivel de exposición sonora (según esta fórmula) va creciendo con T (duración del suceso sonoro individualizado evaluado).

Para llevar a cabo la evaluación del ruido existente en la zona del proyecto, se realiza el análisis de las medidas con los dos índices descritos anteriormente, nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$) y nivel de exposición sonora (L_{AE}). El primero de ellos se utiliza para evaluar conjuntamente el ruido procedente de varias fuentes combinadas, y el segundo para evaluar los sucesos sonoros individuales.

A continuación se enumeran los cálculos o determinaciones realizados en el proyecto con los resultados de la campaña de medidas ejecutada “in situ” en la zona de estudio, exponiendo los resultados en forma de tablas:

- Cálculo 1 del $L_{Aeq,T}$ en cada punto estratégico de muestreo, con todas las fuentes de ruido funcionando en $T=900$ segundos, según la expresión:

$$L_{Aeq,15 \text{ min}} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{180} \sum_{i=1}^{i=180} 10^{\frac{L_{Aeqi}}{10}} \right]$$

con L_{Aeqi} medido cada 5 segundos.

- Cálculo 2 del $L_{Aeq,T}$ en cada punto estratégico de muestreo, con todas las fuentes de ruido funcionando excepto el sobrevuelo de aviones. Para el cálculo se eliminan de la fórmula los datos L_{Aeqi} de 5 segundos registrados en cada una de las huellas acústicas registradas (pasos de aviones), y sus niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A asociados.

Este cálculo se realiza con objeto de caracterizar todas las fuentes de ruido del proyecto que pueden modelizarse con software de predicción de ruido.

- Cálculo 3 del $L_{Aeq,T}$ en cada punto estratégico de muestreo, con todas las fuentes de ruido funcionando excepto el sobrevuelo de aviones. Para el cálculo se eliminan de la fórmula los datos L_{Aeqi} de 5 segundos registrados en cada uno de los pasos de aviones, cuyos niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A asociados queden dentro del L_{AE} práctico (niveles que se sitúan dentro de los 10 dB de su nivel de presión sonora máximo).

La diferencia entre el cálculo 2 y el cálculo 3 es muy pequeña.

- Cálculo 4 del nivel de exposición sonora en cada paso de avión y tren.
- Cálculo 5, de determinación de la presencia o ausencia de componentes tonales emergentes y el valor del parámetro de corrección K_t , asociado a cada uno de los pasos de aviones y trenes en cada estación de medida, tanto en el periodo día como tarde.
- Cálculo 6, de determinación de la presencia o ausencia de componentes de baja frecuencia y el valor del parámetro de corrección K_f , asociado a la medida que ocurre 10 o 20 segundos después de producirse el paso de avión o tren en cada estación de medida, tanto en el periodo día como tarde.

Para obtener los índices $L_{Aeq,5s}$, $L_{Ceq,5s}$ y $L_{A1eq,5s}$, del ruido residual con el que se corrige la medida posterior al paso de la fuente, se calcula el nivel de presión sonora energético promedio (L_{Pm}) de las medidas de 5s correspondientes al minuto anterior y posterior al paso de la fuente objeto de evaluación.

$$L_{pm} = 10 \cdot \lg \left[\frac{\sum_{i=1}^{24} 10^{0,1 \cdot L_i}}{24} \right] \quad (10)$$

El índice Desviación que se adjunta en las tablas que se presentan a continuación, se refiere a la desviación típica de la media de todos los valores $L_{Aeq,5s}$ registrados durante la medida de 15 minutos en cada punto.

El índice Clima sonoro promedio se refiere a la media de todos los valores obtenidos como diferencia de los percentiles L_1 - L_{99} en cada una de las medidas de 5 segundos registradas durante los 15 minutos.

CÁLCULO 1. PERIODO DÍA. MUESTREO DE 15 MINUTOS.

Fuentes de ruido operando	Índice	P1 DÍA	P2 DÍA	P3 DÍA	P4 DÍA	P5 DÍA	P6 DÍA	P7 DÍA
Todas	$L_{Aeq,15 \text{ min}}$ (dBA)	67,2	69,8	66,2	66,5	61,8	65,8	67,3
	Desviación	6,4	5,4	5,9	5,1	4,8	4,9	4,0
	Clima sonoro promedio	3,1	2,7	3,6	5,7	3,3	3,3	3,4

Tabla. XII. Cálculo del L_{Aeq} (15 min).Periodo día. Todas las fuentes funcionando.

CÁLCULO 1. PERIODO TARDE. MUESTREO DE 15 MINUTOS.

Fuentes de ruido operando	Índice	P1 TARDE	-	-	-	P5 TARDE	P6 TARDE	P7 TARDE
Todas	$L_{Aeq,15 \text{ min}}$ (dBA)	63,8	-	-	-	63,5	62,7	62,3
	Desviación	7,4	-	-	-	6,2	5,5	5,6
	Clima sonoro promedio	4,6	-	-	-	4,5	4,2	4,7

Tabla. XIII. Cálculo del L_{Aeq} (15 min).Periodo tarde. Todas las fuentes funcionando.

CÁLCULO 2. PERIODO DÍA. MUESTREO DE 15 MINUTOS.

Fuentes de ruido operando	Índice	P1 DÍA	P2 DÍA	P3 DÍA	P4 DÍA	P5 DÍA	P6 DÍA	P7 DÍA
Todas excepto sobrevuelo de aviones	$L_{Aeq,15 \text{ min}}$ (dBA)	58,6	60,1	58,2	60,4	55,1	60,8	64,0
	Desviación	3,6	2,0	3,5	3,2	2,6	3,3	2,5

Tabla. XIV. Cálculo del L_{Aeq} (15 min).Periodo día. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los L_{Aeq} (5s) asociados a la huella acústica de cada paso.

CÁLCULO 2. PERIODO TARDE. MUESTREO DE 15 MINUTOS.

Fuentes de ruido operando	Índice	P1 TARDE	-	-	-	P5 TARDE	P6 TARDE	P7 TARDE
Todas excepto sobrevuelo de aviones	$L_{Aeq,15 \text{ min}}$ (dBA)	57,1	-	-	-	56,1	58,3	60,4
	Desviación	5,3	-	-	-	4,0	4,1	5,3

Tabla. XV. Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$.Periodo tarde. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los $L_{Aeq}(5s)$ asociados a la huella acústica de cada paso.

CÁLCULO 3. PERIODO DÍA. MUESTREO DE 15 MINUTOS.

Fuentes de ruido operando	Índice	P1 DÍA	P2 DÍA	P3 DÍA	P4 DÍA	P5 DÍA	P6 DÍA	P7 DÍA
Todas excepto sobrevuelo de aviones	$L_{Aeq,15 \text{ min}}$ (dBA)	59,2	61,1	59,3	60,7	56,1	61,6	64,1
	Desviación	3,9	2,5	4,0	3,3	3,0	3,3	2,5

Tabla. XVI. Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$.Periodo día. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los $L_{Aeq}(5s)$ asociados al L_{AE} práctico de cada paso.

CÁLCULO 3. PERIODO TARDE. MUESTREO DE 15 MINUTOS.

Fuentes de ruido operando	Índice	P1 TARDE	-	-	-	P5 TARDE	P6 TARDE	P7 TARDE
Todas excepto sobrevuelo de aviones	$L_{Aeq,15 \text{ min}}$ (dBA)	57,2	-	-	-	56,9	58,7	60,8
	Desviación	5,5	-	-	-	4,4	4,1	5,3

Tabla. XVII. Cálculo del $L_{Aeq}(15 \text{ min})$.Periodo tarde. Todas las fuentes funcionando excepto aviones. Se eliminan los $L_{Aeq}(5s)$ asociados al L_{AE} práctico de cada paso.

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE AVIÓN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P1_DIA	10:20:14	76,1	3	78,2	6s	86,0
P1_DIA	10:20:15	81,3				
P1_DIA	10:20:20	73,4				
P1_DIA	10:23:30	74,1	3	79,2	10s	89,2
P1_DIA	10:23:35	81,6				
P1_DIA	10:23:40	79,1				
P1_DIA	10:31:05	78,7	2	79,8	5s	86,8
P1_DIA	10:31:10	80,7				
P1_DIA	10:34:05	77,4	2	78,9	5s	85,9
P1_DIA	10:34:10	80,0				
P1_TARDE	21:51:35	76,5	3	76,6	10s	86,6
P1_TARDE	21:51:40	79,5				
P1_TARDE	21:51:45	64,5				
P1_TARDE	21:56:25	73,0	3	76,5	10s	86,5
P1_TARDE	21:56:30	79,7				
P1_TARDE	21:56:35	73,0				
P1_TARDE	22:01:25	70,1	2	72,0	5s	79,0
P1_TARDE	22:01:30	73,3				
P2_DIA	10:39:10	72,3	3	78,0	10s	88,0

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE AVIÓN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P2_DIA	10:39:15	78,1				
P2_DIA	10:39:20	80,4				
P2_DIA	10:41:20	68,2	3	73,7	10s	83,7
P2_DIA	10:41:25	77,2				
P2_DIA	10:41:30	70,2				
P2_DIA	10:43:15	69,9	3	76,1	10s	86,1
P2_DIA	10:43:20	76,0				
P2_DIA	10:43:25	78,6				
P2_DIA	10:45:55	75,9	2	78,8	5s	85,8
P2_DIA	10:46:00	80,5				
P2_DIA	10:50:05	81,2	3	85,1	10s	95,1
P2_DIA	10:50:10	88,5				
P2_DIA	10:50:15	81,4				
P3_DIA	10:59:50	76,4	2	76,0	5s	83,0
P3_DIA	10:59:55	75,5				
P3_DIA	11:04:45	67,7	2	74,7	5s	81,7
P3_DIA	11:04:50	77,3				
P3_DIA	11:07:45	72,3	2	73,2	5s	80,2
P3_DIA	11:07:50	74,0				

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE AVIÓN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P3_DIA	11:11:15	75,9	2	77,6	5s	84,6
P3_DIA	11:11:20	78,8				
P4_DIA	11:26:25	74,2	3	78,2	10s	88,2
P4_DIA	11:26:30	81,7				
P4_DIA	11:26:35	73,9				
P4_DIA	11:32:45	73,4	3	79,1	10s	89,1
P4_DIA	11:32:50	80,4				
P4_DIA	11:32:55	80,4				
P4_DIA	11:35:30	75,0	3	77,2	10s	87,2
P4_DIA	11:35:35	80,6				
P4_DIA	11:35:40	70,1				
P5_DIA	11:49:20	64,5	3	71,4	10s	81,4
P5_DIA	11:49:25	71,2				
P5_DIA	11:49:30	74,0				
P5_DIA	11:56:55	69,8	5	75,1	20s	88,1
P5_DIA	11:57:00	72,5				
P5_DIA	11:57:05	79,4				
P5_DIA	11:57:10	75,6				
P5_DIA	11:57:15	70,1				

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE AVIÓN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P5_TARDE	22:06:25	70,2	3	77,2	10s	87,2
P5_TARDE	22:06:30	77,1				
P5_TARDE	22:06:35	79,8				
P5_TARDE	22:09:10	72,4	3	73,6	10s	83,6
P5_TARDE	22:09:15	76,7				
P5_TARDE	22:09:20	67,0				
P5_TARDE	22:15:15	74,9	3	74,7	10s	84,7
P5_TARDE	22:15:20	77,1				
P5_TARDE	22:15:25	67,9				
P6_DIA	12:12:45	68,8	3	74,4	10s	84,4
P6_DIA	12:12:50	77,0				
P6_DIA	12:12:55	73,9				
P6_DIA	12:16:55	71,9	3	76,6	10s	86,6
P6_DIA	12:17:00	79,0				
P6_DIA	12:17:05	76,3				
P6_DIA	12:19:35	69,2	3	73,1	10s	83,1
P6_DIA	12:19:40	76,7				
P6_DIA	12:19:45	67,9				
P6_DIA	12:22:55	72,3	4	73,7	15s	85,5

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE AVIÓN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P6_DIA	12:23:00	77,9				
P6_DIA	12:23:05	69,5				
P6_DIA	12:23:10	68,2				
P6_DIA	12:25:10	67,6	4	72,5	15s	84,3
P6_DIA	12:25:15	74,4				
P6_DIA	12:25:20	75,3				
P6_DIA	12:25:25	66,6				
P6_TARDE	22:34:30	66,3	3	71,5	10s	81,5
P6_TARDE	22:34:35	75,0				
P6_TARDE	22:34:40	68,3				
P6_TARDE	22:39:05	72,1	3	70,3	10s	80,3
P6_TARDE	22:39:10	71,4				
P6_TARDE	22:39:15	63,9				
P6_TARDE	22:41:20	71,3	2	74,3	5s	81,3
P6_TARDE	22:41:25	76,1				
P6_TARDE	22:43:30	67,3	3	71,9	10s	81,9
P6_TARDE	22:43:35	75,6				
P6_TARDE	22:43:40	66,5				
P6_TARDE	22:47:50	67,0	3	70,8	10s	80,8

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE AVIÓN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P6_TARDE	22:47:55	74,3				
P6_TARDE	22:48:00	65,8				
P7_DIA	12:37:40	74,3	3	76,6	10s	86,6
P7_DIA	12:37:45	79,9				
P7_DIA	12:37:50	70,6				
P7_DIA	12:40:30	79,7	2	77,4	5s	84,4
P7_DIA	12:40:35	72,5				
P7_DIA	12:42:00	76,3	11	74,3	50s	91,2
P7_DIA	12:42:05	75,9				
P7_DIA	12:42:10	70,7				
P7_DIA	12:42:15	76,3				
P7_DIA	12:42:20	74,8				
P7_DIA	12:42:25	73,1				
P7_DIA	12:42:30	74,4				
P7_DIA	12:42:35	73,5				
P7_DIA	12:42:40	74,0				
P7_DIA	12:42:45	74,0				
P7_DIA	12:42:50	67,9				
P7_TARDE	22:58:15	75,1	2	77,1	5s	84,0

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE AVIÓN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P7_TARDE	22:58:20	78,4				

Tabla. XVIII. Cálculo del L_{AE} (dBA) asociado a cada paso de avión.

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE TREN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P1_TARDE	21:48:30	49,0	10	54,1	45s	70,7
P1_TARDE	21:48:35	53,7				
P1_TARDE	21:48:40	57,6				
P1_TARDE	21:48:45	58,2				
P1_TARDE	21:48:50	54,4				
P1_TARDE	21:48:55	52,9				
P1_TARDE	21:49:00	52,2				
P1_TARDE	21:49:05	51,6				
P1_TARDE	21:49:10	51,2				
P1_TARDE	21:49:15	48,9				
P2_DIA	10:46:50	57,7	8	63,1	35s	78,5
P2_DIA	10:46:55	60,1				
P2_DIA	10:47:00	65,9				
P2_DIA	10:47:05	67,4				

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE TREN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P2_DIA	10:47:10	63,2				
P2_DIA	10:47:15	61,5				
P2_DIA	10:47:20	60,2				
P2_DIA	10:47:25	58,9				
P2_DIA	10:53:10	59,4	7	63,5	30s	78,3
P2_DIA	10:53:15	61,6				
P2_DIA	10:53:15	65,8				
P2_DIA	10:53:25	66,7				
P2_DIA	10:53:30	64,0				
P2_DIA	10:53:35	61,3				
P2_DIA	10:53:40	60,1				
P3_DIA	11:02:35	68,2	3	70,3	10s	80,3
P3_DIA	11:02:40	72,9				
P3_DIA	11:02:45	67,9				
P7_DIA	12:44:15	61,7	4	63,6	15s	75,4
P7_DIA	12:44:20	63,9				
P7_DIA	12:44:25	66,8				
P7_DIA	12:44:30	57,3				
P7_DIA	12:44:50	61,9	6	59,3	25s	73,3

CÁLCULO 4. L_{AE} [dBA] ASOCIADO A CADA PASO DE TREN

Punto	Hora	$L_{Aeq,5s}$ [dBA]	n	$10 \cdot \lg \left[\left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum 10^{\frac{L_{Aeq}}{10}} \right]$	T	L_{AE} [dBA]
P7_DIA	12:44:55	62,7				
P7_DIA	12:45:00	64,8				
P7_DIA	12:45:05	64,6				
P7_DIA	12:45:10	63,2				
P7_DIA	12:45:15	59,5				
P7_TARDE	23:03:55	61,8	3	61,8	10s	71,8
P7_TARDE	23:04:00	62,5				
P7_TARDE	23:04:05	60,9				
P7_TARDE	23:04:55	58,1	3	61,1	10s	71,1
P7_TARDE	23:05:00	64,4				
P7_TARDE	23:05:05	56,9				
P7_TARDE	23:08:00	59,4	6	64,4	25s	78,4
P7_TARDE	23:08:05	60,4				
P7_TARDE	23:08:10	63,6				
P7_TARDE	23:08:15	65,3				
P7_TARDE	23:08:20	66,8				
P7_TARDE	23:08:25	66,3				

Tabla. XIX. Cálculo del L_{AE} (dBA) asociado a cada paso de tren.

**CÁLCULO 5. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES TONALES EMERGENTES EN PASOS
DE AVIONES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_t**

Hora	Punto	Registro	Banda frecuencia Tono	Rango	L_f	L_{f-1}	L_{f+1}	L_s	L_t	K_t
10:20:15	P1_DIA	2	-	-	-	-	-	-	-	-
10:23:35	P1_DIA	42	63	20-125	41,7	38,3	38,8	38,6	3,2	0
10:31:10	P1_DIA	133	63	20-125	45,4	32,5	41,0	36,8	8,7	3
10:34:10	P1_DIA	169	200	160-400	63,2	56,3	61,1	58,7	4,5	0
10:39:20	P2_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:41:25	P2_DIA	210	500	500/10000	68,9	60,2	66,4	63,3	5,6	6
10:43:25	P2_DIA	234	200	160-400	58,9	53,4	58,0	55,7	3,2	0
10:46:00	P2_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:50:10	P2_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:59:50	P3_DIA	392	4.000	500/10000	69,8	65,8	65,7	65,8	4,1	3
11:01:55	P3_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:04:50	P3_DIA	452	400	500/10000	65,0	59,7	63,2	61,5	3,6	0
11:07:50	P3_DIA	488	500	500/10000	66,8	56,1	60,9	58,5	8,3	6
11:11:20	P3_DIA	530	250	160-400	61,6	58,6	60,6	59,6	2	0
11:26:30	P4_DIA	552	200	160-400	61,4	58,1	60,0	59,1	2,4	0
11:32:50	P4_DIA	628	500	500/10000	74,4	66,0	69,8	67,9	6,5	6
11:35:35	P4_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:49:30	P5_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:57:05	P5_DIA	861	400	160-400	69,3	59,8	69,0	64,4	4,9	0

**CÁLCULO 5. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES TONALES EMERGENTES EN PASOS
DE AVIONES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_t**

Hora	Punto	Registro	Banda frecuencia Tono	Rango	L_f	L_{f-1}	L_{f+1}	L_s	L_t	K_t
12:12:50	P6_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:17:00	P6_DIA	979	2000	500/10000	70,6	69,5	68,3	68,9	1,7	0
12:19:40	P6_DIA	1011	80	20-125	46,2	43,2	44,3	43,8	2,5	0
12:23:00	P6_DIA	1051	80	20-125	45,9	36,5	43,8	40,2	5,8	0
12:25:20	P6_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:37:45	P7_DIA	1153	200	160-400	62,3	56,6	61,0	58,8	3,5	0
12:40:30	P7_DIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:42:00	P7_DIA	1204	800	500/10000	72,5	66,1	71,4	68,8	3,8	3
12:42:15	P7_DIA	1205	1000	500/10000	71,8	71,2	66,3	68,8	3,1	3
21:51:40	P1_TAR	1325	3150	500/10000	72,3	70,5	69,5	70,0	2,3	0
21:56:30	P1_TAR	1383	200	160-400	63,1	55,1	61,2	58,2	5,0	3
21:59:30	P1_TAR	1419	200	160-400	54,4	49,4	52,6	51,0	3,4	0
22:01:30	P1_TAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:06:35	P5_TAR	1457	500	500/10000	73,3	72,1	65,4	69,0	4,3	3
22:09:15	P5_TAR	1489	200	160-400	54,5	50,3	52,8	51,6	3,0	0
22:15:20	P5_TAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:34:35	P6_TAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:39:10	P6_TAR	1692	2000	500/10000	63,6	62,2	59,3	60,8	2,9	0
22:41:25	P6_TAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CÁLCULO 5. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES TONALES EMERGENTES EN PASOS DE AVIONES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_t

Hora	Punto	Registro	Banda frecuencia Tono	Rango	L_f	L_{f-1}	L_{f+1}	L_s	L_t	K_t
22:43:35	P6_TAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:47:55	P6_TAR	1797	250	160-400	57,5	55,9	56,2	56,1	1,5	0
22:58:20	P7_TAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla. XX. Determinación del parámetro K_t . Paso de aviones.

Siendo $L_s = (L_{f-1} + L_{f+1})/2$ y $L_t = L_f - L_s$

CÁLCULO 5. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES TONALES EMERGENTES EN PASOS DE TRENES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_t

Hora	Punto	Registro	Banda frecuencia Tono	Rango	L_f	L_{f-1}	L_{f+1}	L_s	L_t	K_t
21:48:45	P1_TAR	1290	3150	500/10000	43,3	42,1	34,6	38,4	5,0	3
10:47:05	P2_DIA	278	630	500/10000	62,4	57,7	59,5	58,6	3,8	3
10:53:25	P2_DIA	354	125	20-125	42,0	35,1	39,1	37,1	4,9	0
11:02:40	P3_DIA	426	400	160-400	63,0	54,0	62,7	58,4	4,7	0
12:44:25	P7_DIA	1233	250	160-400	57,3	52,6	51,0	51,8	5,5	3
12:45:00	P7_DIA	1240	100	20-125	44,9	38,5	37,5	38,0	6,9	0
23:04:00	P7_TAR	1904	160	160-400	54,7	39,4	45,1	42,3	12,5	6
23:05:00	P7_TAR	1916	63	20-125	36,6	30,9	35,3	33,1	3,5	0
23:08:20	P7_TAR	1956	63	20-125	42,9	30,9	37,6	34,3	8,7	3
23:08:20	P7_TAR	1956	125	20-125	48,5	43,5	44,3	43,9	4,6	0

23:08:20	P7_TAR	1956	630	500/10000	59,7	53,5	59,4	56,5	3,3	3
----------	--------	------	-----	-----------	------	------	------	------	-----	---

CÁLCULO 5. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES TONALES EMERGENTES EN PASOS DE TRENES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_t

Hora	Punto	Registro	Banda frecuencia Tono	Rango	L_f	L_{f-1}	L_{f+1}	L_s	L_t	K_t
23:08:20	P7_TAR	1956	1000	500/10000	61,5	59,4	54,5	57,0	4,6	3

Tabla. XXI. Determinación del parámetro K_t . Paso de trenes.

Siendo $L_s = (L_{f-1} + L_{f+1})/2$ y $L_t = L_f - L_s$

CÁLCULO 6. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA EN PASOS DE AVIONES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_f

MEDIDA			Fuente en marcha		Ruido residual		Cálculo (F.Marcha- R.Residual)		Penalización
Hora	Punto	Registro	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	K_f
10:20:15	P1_DIA	4	67,7	58,8	65,3	53,5	67,7	57,3	3
10:23:35	P1_DIA	44	70,1	61,0	66,2	54,4	67,8	59,9	0
10:31:10	P1_DIA	135	67,2	56,9	66,5	54,4	67,2	56,9	3
10:34:10	P1_DIA	171	67,3	55,6	66,5	54,0	67,3	55,6	3
10:39:20	P2_DIA	6	70,6	62,3	68,4	59,3	70,6	59,3	3
10:41:25	P2_DIA	31	69,8	62,3	68,4	59,4	69,8	62,3	0
10:43:25	P2_DIA	55	69,1	60,3	69,0	59,8	69,1	60,3	0
10:46:00	P2_DIA	86	68,7	59,5	68,1	59,1	68,7	59,5	0
10:50:10	P2_DIA	136	73,1	65,4	69,8	59,8	70,4	64,0	0
10:59:50	P3_DIA	32	68,2	57,0	69,1	56,0	68,2	57,0	3

**CÁLCULO 6. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA EN PASOS
DE AVIONES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_f**

MEDIDA			Fuente en marcha		Ruido residual		Cálculo (F.Marcha- R.Residual)		Penalización
Hora	Punto	Registro	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	K_f
11:01:55	P3_DIA	57	68,7	58,1	68,5	57,6	68,7	58,1	3
11:04:50	P3_DIA	92	69,9	57,7	68,1	55,2	69,9	57,7	3
11:07:50	P3_DIA	128	67,4	55,0	68,0	56,2	67,4	55,0	3
11:11:20	P3_DIA	170	68,5	56,0	68,0	54,7	68,5	56,0	3
11:26:30	P4_DIA	11	66,1	61,8	63,9	58,6	66,1	59,0	0
11:32:50	P4_DIA	87	72,5	67,5	71,6	61,4	72,5	66,3	0
11:35:35	P4_DIA	119	73,1	70,1	68,2	62,5	71,4	69,3	0
11:49:30	P5_DIA	48	64,6	54,0	65,7	52,3	64,6	54,0	3
11:57:05	P5_DIA	143	68,0	57,9	67,1	55,7	68,0	57,9	3
12:12:50	P6_DIA	26	78,0	66,5	77,2	62,6	78,0	64,2	3
12:17:00	P6_DIA	76	78,4	66,8	76,7	62,4	78,4	64,9	3
12:19:40	P6_DIA	108	61,5	72,5	70,4	56,9	61,5	72,4	0
12:23:00	P6_DIA	148	68,7	85,2	75,4	60,9	68,7	85,2	0
12:25:20	P6_DIA	172	79,7	67,6	74,8	60,2	78,0	66,7	3
12:37:45	P7_DIA	69	74,1	66,5	74,2	63,5	74,1	66,5	0
12:40:30	P7_DIA	102	74,5	65,3	74,5	63,2	74,5	65,3	0
12:42:00	P7_DIA	120	75,7	70,7	74,7	63,3	75,7	69,8	0
12:42:15	P7_DIA	123	77,6	73,1	74,7	63,6	77,6	72,6	0

21:51:40	P1_TAR	60	60,9	53,8	67,3	52,5	60,9	53,8	0
CÁLCULO 6. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA EN PASOS DE AVIONES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_f									
MEDIDA			Fuente en marcha		Ruido residual		Cálculo (F.Marcha-R.Residual)		Penalización
Hora	Punto	Registro	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	K_f
21:56:30	P1_TAR	118	73,5	64,4	59,5	52,3	73,3	64,1	0
21:59:30	P1_TAR	154	64,5	54,5	60,4	50,6	62,3	52,3	3
22:01:30	P1_TAR	178	61,4	50,1	59,4	46,6	61,4	47,5	3
22:06:35	P5_TAR	11	65,6	58,0	62,0	53,0	63,1	56,4	0
22:09:15	P5_TAR	43	62,1	55,2	65,8	56,5	62,1	55,2	0
22:15:20	P5_TAR	116	71,3	66,3	63,2	54,4	70,6	66,0	0
22:34:35	P6_TAR	10	71,4	63,1	66,7	55,9	69,6	62,2	0
22:39:10	P6_TAR	64	71,9	63,9	67,5	57,6	69,9	62,7	0
22:41:25	P6_TAR	88	76,4	65,4	68,7	57,6	75,6	64,6	3
22:43:35	P6_TAR	118	67,2	59,3	68,7	57,8	67,2	59,3	0
22:47:55	P6_TAR	170	63,6	58,3	66,9	56,4	63,6	58,3	0
22:58:20	P7_TAR	28	74,0	65,3	70,5	60,1	71,4	63,7	0

Tabla. XXII. Determinación del parámetro K_f . Paso de aviones.

**CÁLCULO 6. DETERMINACIÓN DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA EN PASOS
DE TRENES Y VALOR DEL PARÁMETRO DE CORRECCIÓN K_f**

MEDIDA			Fuente en marcha		Ruido residual		Cálculo (F.Marcha- R.Residual)		Penalización
Hora	Punto	Registro	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	L_{Ceq5s}	L_{Aeq5s}	K_f
21:48:45	P1_TAR	25	59,7	52,9	58,1	47,3	51,5	49,0	0
10:47:05	P2_DIA	99	68,7	61,5	68,0	58,6	68,7	61,5	0
10:53:25	P2_DIA	175	69,2	61,3	68,7	58,5	69,2	61,3	0
11:02:40	P3_DIA	68,0	68,0	57,4	68,1	55,0	68,0	57,4	3
12:44:25	P7_DIA	147	81,8	66,8	73,9	62,9	81,0	64,5	6
12:45:00	P7_DIA	156	68,9	63,2	0,0	0,0	68,9	63,2	0
23:04:00	P7_TAR	94	72,7	62,5	59,0	45,5	72,5	62,4	3
23:05:00	P7_TAR	107	64,7	56,9	59,0	45,5	63,3	56,6	0
23:08:20	P7_TAR	148	68,4	58,3	60,5	48,2	67,6	57,9	0

Tabla. XXIII. Determinación del parámetro K_f . Paso de trenes.

3.4. Distribuciones de frecuencias en clases.

Pasos de aviones y trenes.

Al resumir grandes colecciones de datos, es útil distribuirlos en clases o categorías, y determinar el número de individuos que pertenecen a cada clase, llamado frecuencia de clase.

En este apartado se estudia la disposición tabular de los datos por clases de aviones y trenes junto con las correspondientes frecuencias de clase, para obtener la distribución de frecuencias. Los datos recogidos en la campaña de medidas se han organizado numéricamente, teniendo en cuenta el $L_{Aeq,5s}$ correspondiente a la medida en la que se produce el máximo nivel de ruido en la huella acústica asociada a cada paso de avión y tren.

Se calcula un histograma de frecuencias, en periodo día y tarde, para el paso de aviones y trenes por la zona de estudio.

Las clases o categorías de aviones y trenes creadas en función de los niveles registrados en el momento de máxima molestia, se utilizan en la última fase del proyecto para el cálculo de la incertidumbre de las medidas, debido a las condiciones de operación en sobrevuelo de aviones y pasos de trenes.

Para la obtención del histograma de frecuencias se sigue el siguiente proceso:

- Se apuntan para cada uno de los puntos estratégicos de muestreo, los niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A correspondientes a cada paso de avión y tren, en periodo día y tarde.
- A continuación se ordenan los datos de menor a mayor, para una fuente de ruido determinada y para un periodo concreto.
- Se calcula el rango del conjunto de datos ordenados, como diferencia entre el mayor y el menor.
- Se calcula el número de intervalos de clase, considerando una diferencia de 3 dB entre el límite inferior y el límite superior de clase.

- Se determina el número de pasos de aviones o trenes dentro de cada intervalo de clase.
- Por último, y antes de representar el histograma de frecuencias, se calculan las marcas de clase, como puntos medios de los intervalos de clase, promediando los límites inferior y superior de clase.

A continuación se adjuntan los histogramas de frecuencia.

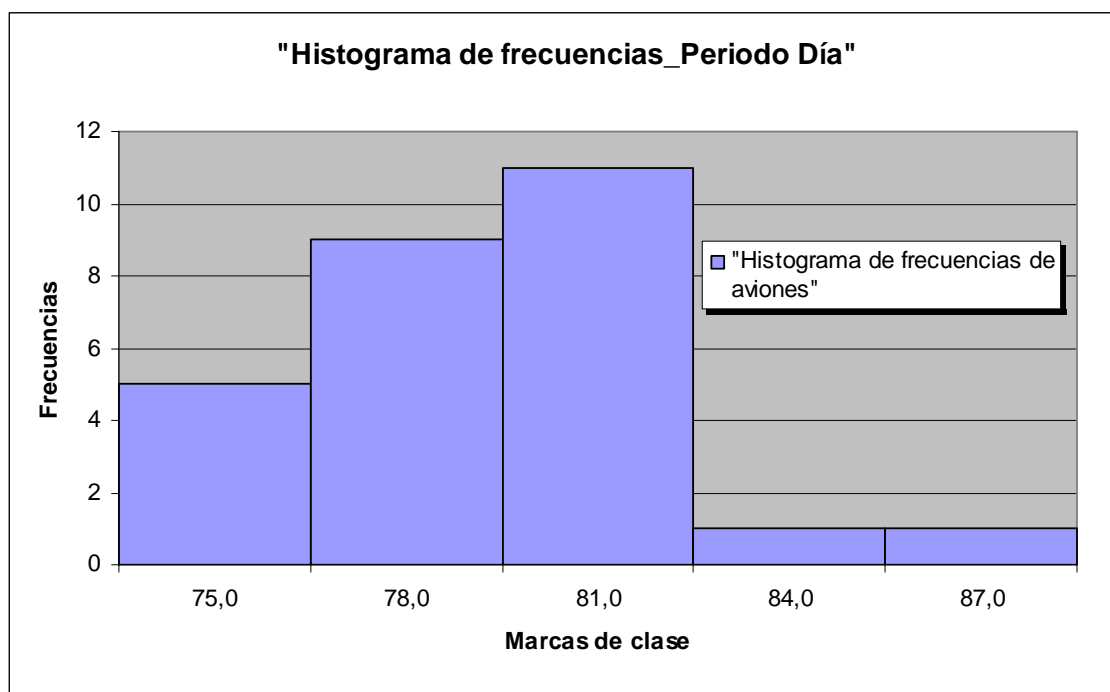
3.4.1. Histograma de frecuencias para el paso de aviones en periodo día

PASO DE AVIONES EN PERIODO DÍA						
PUNTO	HORA PASO	NIVEL L _{Aeq,5s} (dBA)	NIVELES ORDENADOS	RANGO	INTERVALOS DE CLASE	FRECUENCIA DE CLASE
P1_DIA	10:20:15	81,3	74,0 (MIN)	14,5	14,5:3=4,83≈5	
P1_DIA	10:23:35	81,6	74,0	-	73,5 – 76,5	5
P1_DIA	10:31:10	80,7	75,3	-	76,5 – 79,5	9
P1_DIA	10:34:10	80,0	76,3	-	79,5 – 82,5	11
P2_DIA	10:39:10	80,4	76,4	-	82,5 – 85,5	1
P2_DIA	10:41:25	77,2	76,7	-	85,5 – 88,5	1
P2_DIA	10:43:25	78,6	77,0	-		
P2_DIA	10:45:55	80,5	77,2	-	MARCAS DE CLASE	
P2_DIA	10:50:05	88,5	77,3	-	75	5
P3_DIA	10:59:50	76,4	77,9	-	78	9
P3_DIA	11:01:55	84,9	78,6	-	81	11
P3_DIA	11:04:50	77,3	78,8	-	84	1
P3_DIA	11:07:50	74,0	79,0	-	87	1
P3_DIA	11:11:20	78,8	79,4	-		
P4_DIA	11:26:30	81,7	79,7	-		
P4_DIA	11:32:55	80,4	79,9	-		

PASO DE AVIONES EN PERIODO DÍA

PUNTO	HORA PASO	NIVEL $L_{Aeq,5s}$ (dBA)	NIVELES ORDENADOS	RANGO	INTERVALOS DE CLASE	FRECUENCIA DE CLASE
P4_DIA	11:35:30	80,6	80,0	-		
P5_DIA	11:49:30	74,0	80,4	-		
P5_DIA	11:57:05	79,4	80,4	-		
P6_DIA	12:12:50	77,0	80,5	-		
P6_DIA	12:17:00	79,0	80,6	-		
P6_DIA	12:19:40	76,7	80,7	-		
P6_DIA	12:23:00	77,9	81,3	-		
P6_DIA	12:25:20	75,3	81,6	-		
P7_DIA	12:37:45	79,9	81,7	-		
P7_DIA	12:40:35	79,7	84,9	-		
P7_DIA	12:42:15	76,3	88,5 (MAX)	-		

Tabla. XXIV. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de aviones.
Periodo día.



Como en los dos últimos intervalos de clase sólo se encuadra 1 avión, se han incluido ambos en el intervalo de clase **(79,5 – 82,5)** por lo que el histograma de frecuencias queda de la siguiente forma:

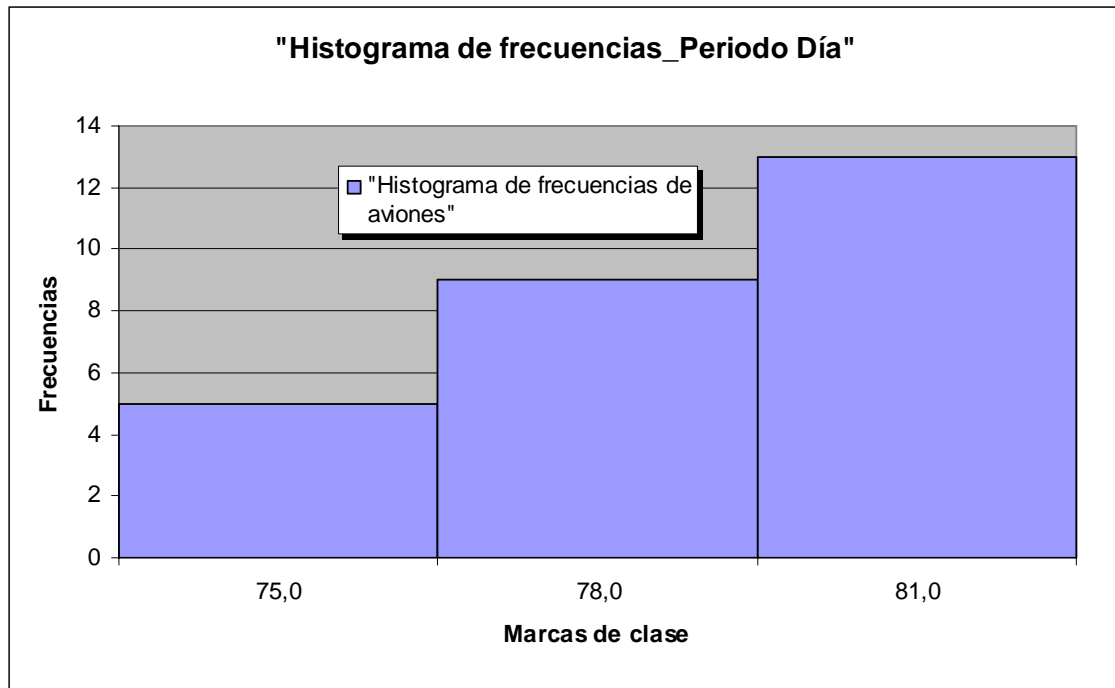


Figura 38. Histograma de frecuencias. Paso de aviones.
Periodo día.

3.4.2. Histograma de frecuencias para el paso de aviones en periodo tarde

PASO DE AVIONES EN PERIODO TARDE

PUNTO	HORA PASO	NIVEL $L_{Aeq,5s}(dBA)$	NIVELES ORDENADOS	RANGO	INTERVALOS DE CLASE	FRECUENCIA DE CLASE
P1_TAR	21:51:40	79,5	72,1 (MIN)	7,7	$7,7:3=2,57\approx 3$	
P1_TAR	21:56:30	79,7	73,3	-	71 – 74	3
P1_TAR	21:59:30	73,8	73,8	-	74 – 77	5
P1_TAR	22:01:30	73,3	74,3	-	77 – 80	5
P5_TAR	22:06:35	79,8	75,0	-		
P5_TAR	22:09:15	76,7	75,6	-	MARCAS DE CLASE	

PASO DE AVIONES EN PERIODO TARDE

PUNTO	HORA PASO	NIVEL $L_{Aeq,5s}(dBA)$	NIVELES ORDENADOS	RANGO	INTERVALOS DE CLASE	FRECUENCIA DE CLASE
P5_TAR	22:15:20	77,1	76,1	-	72,5	3
P6_TAR	22:34:35	75,0	76,7	-	75,5	5
P6_TAR	22:39:05	72,1	77,1	-	78,5	5
P6_TAR	22:41:25	76,1	78,4	-		
P6_TAR	22:43:35	75,6	79,5	-		
P6_TAR	22:47:55	74,3	79,7	-		
P7_TAR	22:58:20	78,4	79,8 (MAX)	-		

Tabla. XXV. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de aviones.
Periodo tarde.

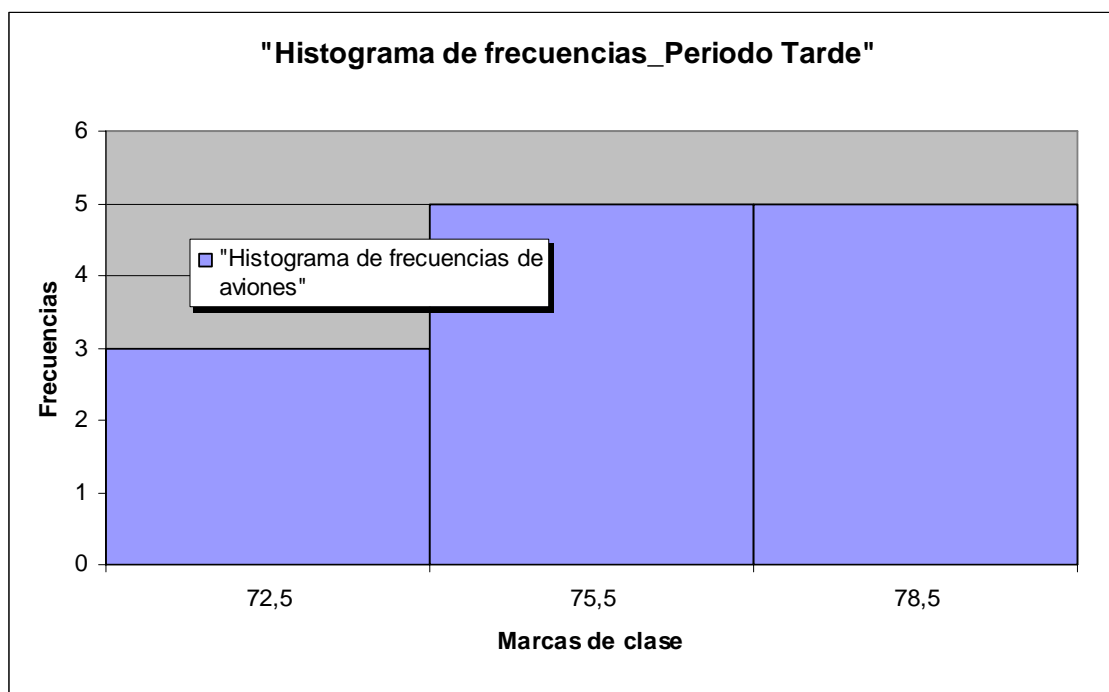


Figura 39. Histograma de frecuencias. Paso de aviones.
Periodo tarde.

Para ambos periodos de medición se confirma la presencia de **tres clases o categorías de avión** que sobrevuelan la zona de estudio, con las frecuencias de paso

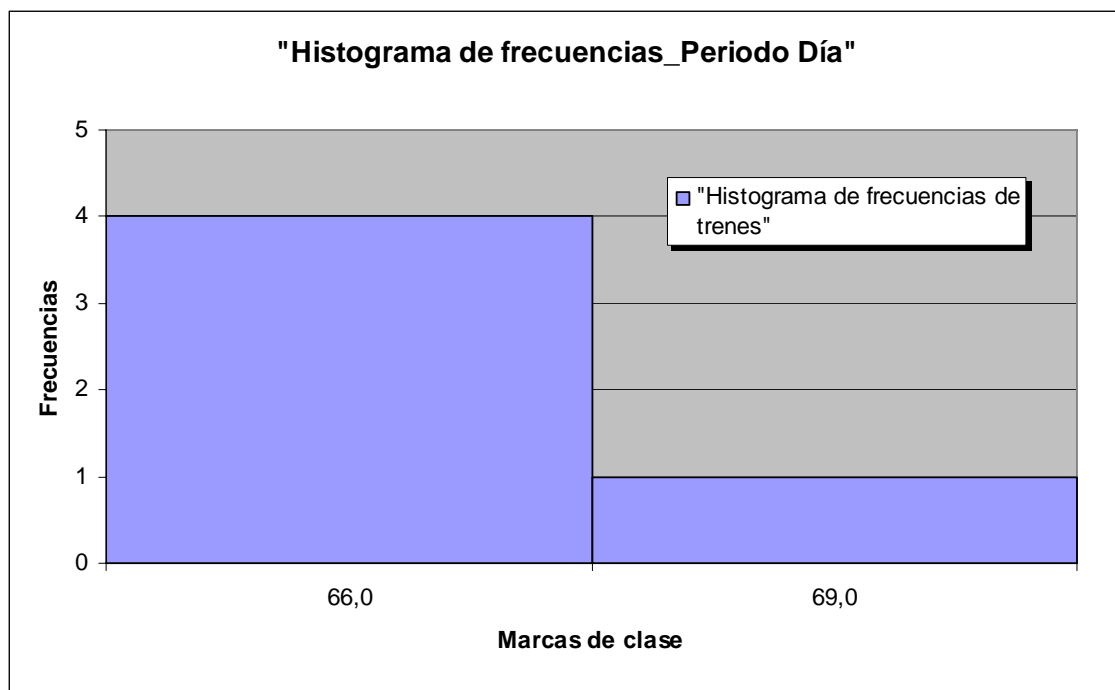
que marcan los histogramas anteriores, y con los niveles $L_{Aeq,5s}$ máximos (dentro de la huella acústica) definidos por las marcas de clase.

3.4.3. Histograma de frecuencias para el paso de trenes en periodo día

PASO DE TRENES EN PERIODO DIA

PUNTO	HORA PASO	NIVEL $L_{Aeq,5s}$ (dBA)	NIVELES ORDENADOS	RANGO	INTERVALOS DE CLASE	FRECUENCIA DE CLASE
P2_DIA	10:47:05	67,4	64,8 (MIN)	8,1	8,1:3=2,7≈3	
P2_DIA	10:53:25	66,7	66,7	-	64,5 – 67,5	4
P3_DIA	11:02:40	72,9	66,8	-	67,5 –Adelante	1
P7_DIA	12:44:25	66,8	67,4	-	MARCAS DE CLASE	
P7_DIA	12:45:00	64,8	72,9 (MAX)	-		
					66	4
					69	1

Tabla. XXVI. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de trenes.
Periodo día.



Como en el último intervalo de clase sólo se encuadra 1 tren, se ha incluido en el intervalo de clase **(64,5 – 67,5)** por lo que el histograma de frecuencias queda de la siguiente forma:

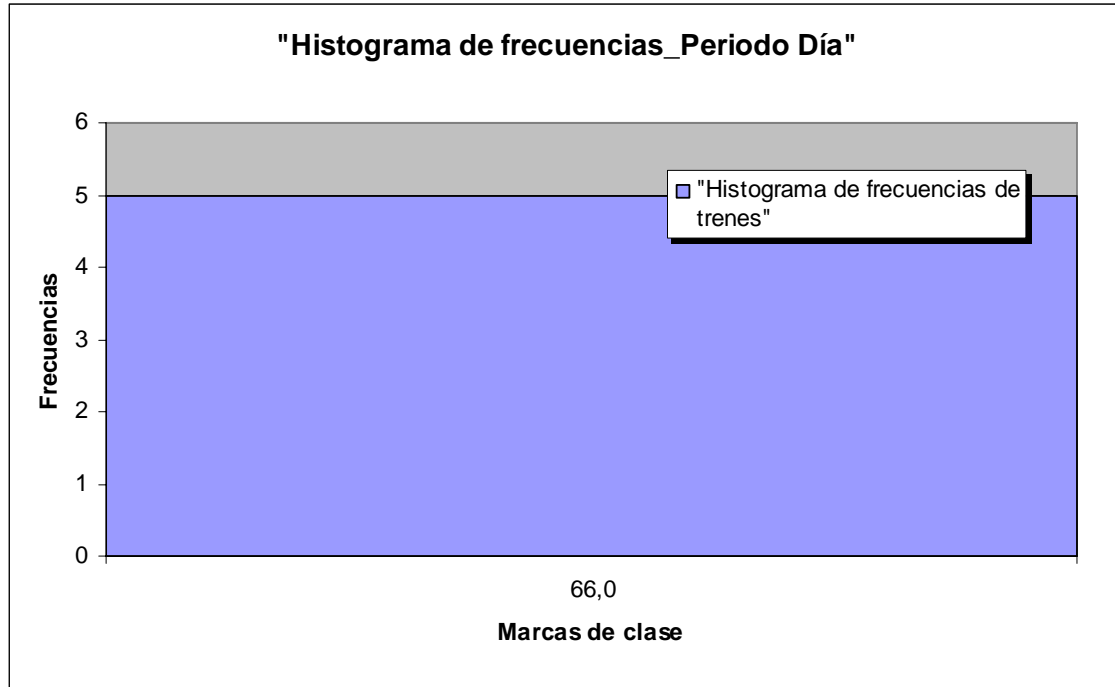
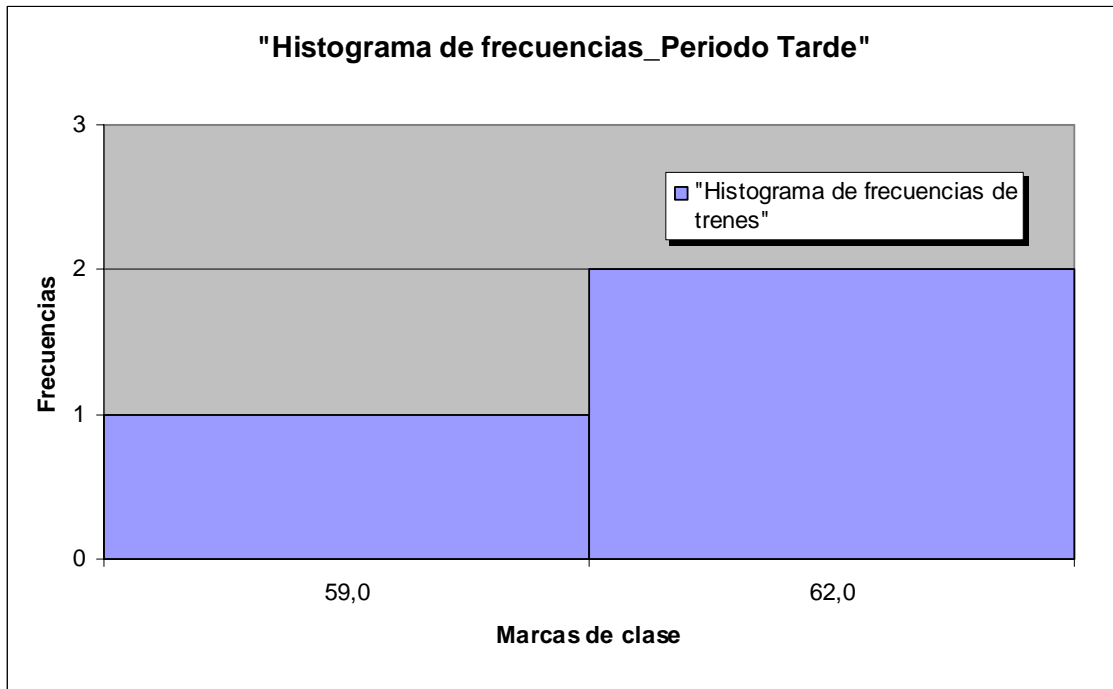


Figura 40. Histograma de frecuencias. Paso de trenes.
Periodo día.

3.4.4. Histograma de frecuencias para el paso de trenes en periodo tarde

PASO DE TRENES EN PERIODO TARDE						
PUNTO	HORA PASO	NIVEL $L_{Aeq,5s}$ (dBA)	NIVELES ORDENADOS	RANGO	INTERVALOS DE CLASE	FRECUENCIA DE CLASE
P1_TAR	21:48:45	58,2	58,2 (MIN)	6,2	6,2:3=2,1	
P7_TAR	23:04:00	62,5	62,5	-	57,5 – 60,5	1
P7_TAR	23:05:00	64,4	64,4 (MAX)	-	60,5 – Adelante	2
					MARCAS DE CLASE	
					59	1
					62	2

Tabla. XXVII. Proceso de obtención del histograma de frecuencias. Pasos de trenes. Periodo tarde.



Como en el primer intervalo de clase sólo se encuadra 1 tren, se ha incluido en el intervalo de clase **(60,5 - Adelante)** por lo que el histograma de frecuencias queda de la siguiente forma:

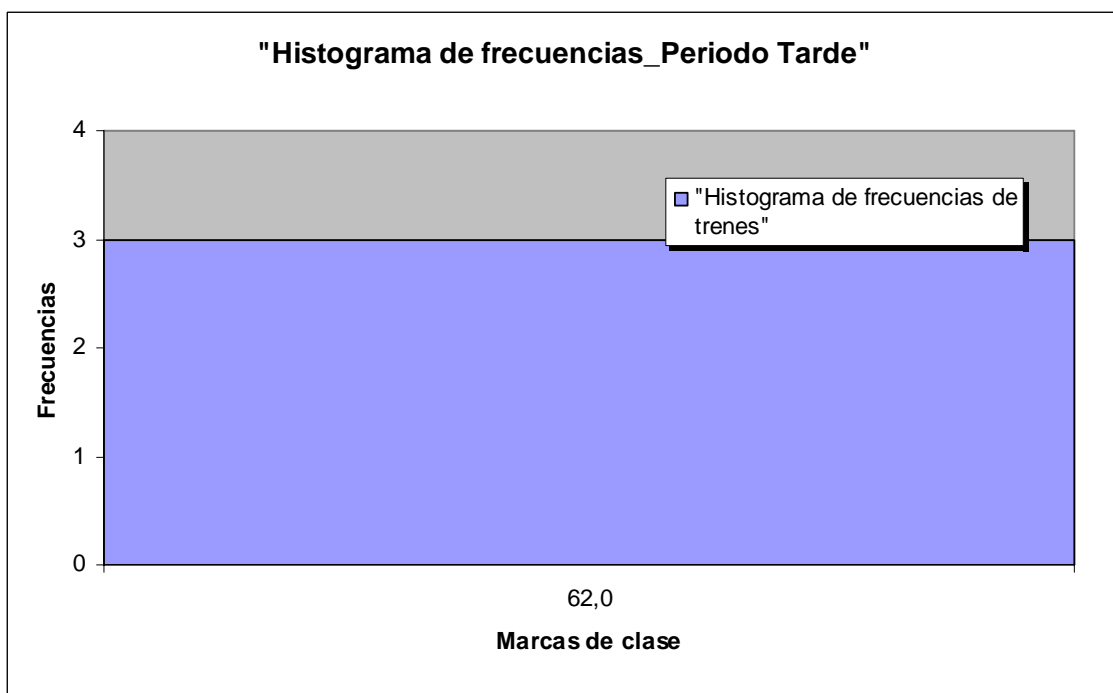


Figura 41. Histograma de frecuencias. Paso de trenes.
Periodo tarde.

Para ambos periodos de medición se confirma la presencia de **una clase o categoría de tren (tipo Cercanías)** que pasa por la zona de estudio, con las frecuencias de paso que marcan los histogramas anteriores, y con los niveles $L_{Aeq,5s}$ máximos (dentro de la huella acústica) definidos por las marcas de clase.

3.5. Evaluación del ruido de actividades industriales

Para terminar la Fase 1, se evalúa en este punto el ruido industrial procedente de las instalaciones más cercanas a las zonas residenciales objeto de estudio: Justesa e ITV Coslada.

El ruido de la maquinaria y de los equipos de tratamiento procedentes del área de explotación de la gravera, son evaluados con las medidas realizadas en los puntos P1, P2 y P3, como fuente de ruido residual.



Figura 42. Instalaciones industriales cercanas a la zona residencial.

Se adjunta en la Figura 42 una fotografía aérea (Fuente: Google Earth), donde se observa la proximidad de ambas instalaciones a la zona residencial: Justesa (rodeada con línea amarilla), e ITV Coslada (rodeada con línea celeste).

Los principales focos de ruido que pueden afectar al uso residencial son:

- En Justesa: generadores de vapor, compresores y “scrubber”.
- En ITV-Coslada: extractor ubicado en altura, y “ruido impulsivo” procedente del pitido de los coches.



Figura 43. Puntos de medida ubicados en perímetro externo a las instalaciones.

Los puntos escogidos para evaluar el ruido procedente de dichas instalaciones, se sitúan en zona de espacio libre, situada entre el uso industrial y el uso residencial. Dichos puntos son: P1_IND, y P2_IND (observar Figura 43).

La determinación del ruido residual se efectúa en el mes de agosto de 2013, una vez se detienen en su totalidad las actividades productivas de las plantas. El punto escogido para evaluar el ruido residual es el F1_IND (situado también en zona de espacio libre).

Las medidas se realizan los días 4 de julio de 2013 (con las instalaciones en funcionamiento), y 5 de agosto de 2013 (con las instalaciones paradas). Cada una de las medidas individuales consiste en un registro continuo de sonido de 15 minutos de duración, y cada 5 segundos se calcula el nivel continuo equivalente del sonido.

Mientras dura el registro de sonido se toma nota de los eventos sonoros más importantes y durante el registro del sonido se realizaron medidas de las condiciones meteorológicas (humedad, temperatura, presión y velocidad del viento) existentes en esos instantes.

A continuación se adjuntan los registros de sonido en cada uno de los puntos:



Figura 44. Medida de 15 minutos. Punto P1_IND. Periodo día.

Observaciones punto **P1_IND**:

- 11:59:00 Paso de avión
- 12:00:00 Paso de avión
- 12:01:00 Arrastre de cubo servicio limpieza
- 12:02:00 Niños jugando y gritando
- 12:02:00 Golpes en el interior del recinto de la empresa
- 12:08:00 Gente hablando en el parque
- 12:11:00 Paso de avión

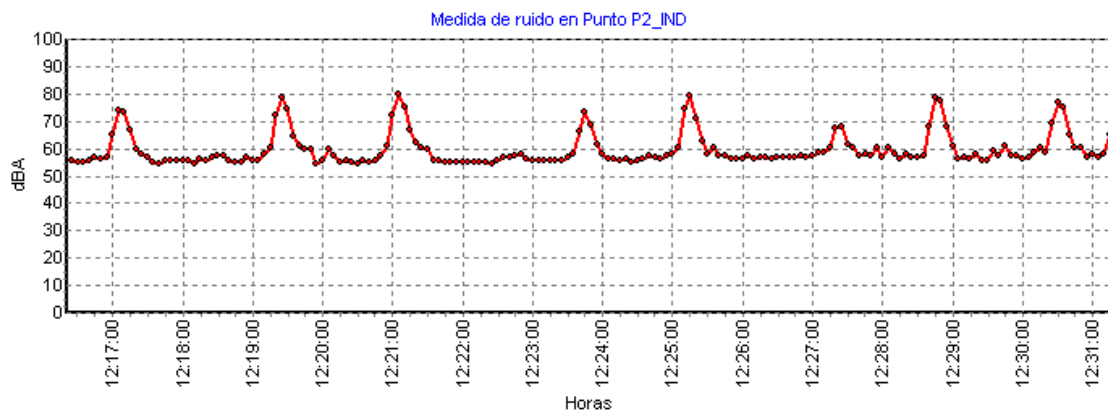


Figura 45. Medida de 15 minutos. Punto P2_IND. Periodo día.

Observaciones punto **P2_IND**:

- 12:15:00 Paso de avión
- 12:18:00 Paso de avión
- 12:19:00 Paso de avión
- 12:20:00 Sirena marcha atrás camión interno empresa
- 12:22:00 Paso de avión
- 12:23:00 Paso de avión
- 12:25:00 Paso de avión
- 12:27:00 Paso de avión
- 12:29:00 Paso de avión
- 12:31:00 Paso de avión



Figura 46. Medida de 15 minutos. Punto F1_IND. Periodo tarde.

Observaciones punto **F1_IND**:

- 20:17:00 Paso de avión
- 20:18:00 Paso de avión
- 20:20:00 Paso de avión
- 20:21:00 Paso de avión
- 20:28:00 Paso de avión

CAMPAÑA DE MEDIDAS EN USO INDUSTRIAL			
Índices	P1_IND	P2_IND	F1_IND
L_{Aeq}	63,7	66,6	56,2
L_{99}	53,4	54,4	45,8

CAMPAÑA DE MEDIDAS EN USO INDUSTRIAL			
Índices	P1_IND	P2_IND	F1_IND
L₉₀	55,0	55,3	48,3
L₅₀	56,8	57,1	53,9
L₁₀	59,8	68,2	57,0
L₁	75,0	78,7	67,8
L_{Max}	81,1	79,8	69,2
L_{Min}	53,0	54,3	44,2

Tabla. XXVIII. Resultados globales en puntos situados en el perímetro de las instalaciones

Con las medidas realizadas y según la metodología del Real Decreto 1367/2007, se evalúan a continuación los índices de ruido referentes a los niveles sonoros producidos por las actividades industriales.

Los aspectos que se tienen en cuenta en relación a las medidas realizadas son:

- Las mediciones de los ruidos emitidos al ambiente exterior por el uso industrial se llevan a cabo en los puntos de evaluación donde los valores son más altos.
- No se comprueban variaciones significativas en los niveles de emisión sonoros de las instalaciones industriales durante el periodo temporal de evaluación.
- Del registro de 15 minutos realizado en cada uno de los puntos mencionados anteriormente, se elige el tramo en el que sólo actúan las fuentes de ruido correspondientes a la actividad industrial. En dicho tramo se escogen al menos 3 mediciones del $L_{Aeq,5s}$, con intervalos de tiempo mínimos de 3 minutos entre cada una de las medidas. Las medidas se consideran válidas, cuando la diferencia entre los valores

extremos obtenidos es menor o igual a 6 dB. Por último se calculan las penalizaciones por tonos emergentes, baja frecuencia e impulsividad, para obtener los niveles corregidos $L_{K_{eq},5s}$.

PUNTO	Instalación en marcha			Ruido de fondo			Cálculos (Marcha-Fondo)		
	$L_{Aeq,5s}$	$L_{Ceq,5s}$	$L_{Aeq,5s}$	$L_{Aeq,5s}$	$L_{Ceq,5s}$	$L_{Aeq,5s}$	$L_{Aeq,5s}$	$L_{Ceq,5s}$	$L_{Aeq,5s}$
P1_IND	55,9	70,6	60,0	53,6	59,4	54,9	55,9	70,3	58,4
P2_IND	55,3	72,1	55,9	53,6	59,4	54,9	55,3	71,9	55,9

Tabla. XXIX. Niveles de presión sonora continuos equivalentes en puntos situados en uso industrial

PUNTO	Marcha - Fondo			Penalizaciones			Nivel de evaluación
	$L_{Aeq,5s}$	$L_{Ceq,5s}$	$L_{Aeq,5s}$	Pen. Baja (K_f)	Pen. Imp (K_i)	Pen. Ton. (K_t)	Con redondeo $L_{K_{eq},5s}$
P1_IND	55,9	70,3	58,4	3	0	0	59,0
P2_IND	55,3	71,9	55,9	6	0	0	61,0

Tabla. XXX. Niveles de evaluación en los puntos situados en uso industrial

Teniendo en cuenta la ecuación de variación teórica del nivel de presión sonora con la distancia (siendo $r_2 > r_1$) para fuentes sonoras puntuales en espacio abierto,

$$\Delta NPS = 20 \cdot \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (11)$$

se produce una disminución de 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente sonora.

Las distancias de los puntos P1_IND y P2_IND a los edificios residenciales más cercanos al uso industrial, se encuentran aproximadamente a 35 y 37 metros, lo

que implica que los niveles de presión sonora medidos en el perímetro de la instalación quedarían suficientemente atenuados en las fachadas de dichos edificios. Por este motivo, se concluye que la zona de transición (zona de espacio libre) situada entre ambos usos es capaz de amortiguar los niveles procedentes de la actividad industrial de la zona.

3.6. Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual

En este apartado se realiza la comparación entre los niveles de ruido total (con todas las fuentes operando en la zona de estudio) y los niveles de ruido residual (con todas las fuentes operando salvo el ruido procedente del paso de trenes y aviones por la zona).

En primer lugar se presentan las tablas de resultados para los periodos día y tarde, correspondientes a la campaña de muestreo de 15 minutos en cada punto estratégico de muestreo, dibujándose el gráfico correspondiente a la comparación entre niveles de ruido total (celdas en celeste) y ruido residual (celdas en amarillo). Se adjuntan los resultados para el periodo día:

RESULTADOS CAMPAÑA DE MUESTREO DE 15 MINUTOS PERIODO DÍA								
Fuente operando:	Índice	P1 DÍA	P2 DÍA	P3 DÍA	P4 DÍA	P5 DÍA	P6 DÍA	P7 DÍA
Todas	$L_{Aeq,15min}$	67,2	69,8	66,2	66,5	61,8	65,8	67,3
	Desviación	6,4	5,4	5,9	5,1	4,8	4,9	4,0
Todas menos Trenes y Aviones	$L_{Aeq,15min}$	58,6	59,5	56,2	60,4	55,1	60,8	64,1
	Desviación	3,6	1,5	2,7	3,2	2,6	3,3	2,5

Tabla. XXXI. Niveles de ruido total y ruido residual. Periodo día.

Y para el periodo tarde:

RESULTADOS CAMPAÑA DE MUESTREO DE 15 MINUTOS PERIODO TARDE

Fuente operando:	Índice	P1 TARDE	P5 TARDE	P6 TARDE	P7 TARDE
Todas	$L_{Aeq,15min}$	63,8	63,5	62,7	62,3
	Desviación	7,4	6,2	5,5	5,6
Todas menos Trenes y Aviones	$L_{Aeq,15min}$	57,3	56,1	58,3	60,1
	Desviación	5,4	4,0	4,1	5,3

Tabla. XXXII. Niveles de ruido total y ruido residual. Periodo tarde.

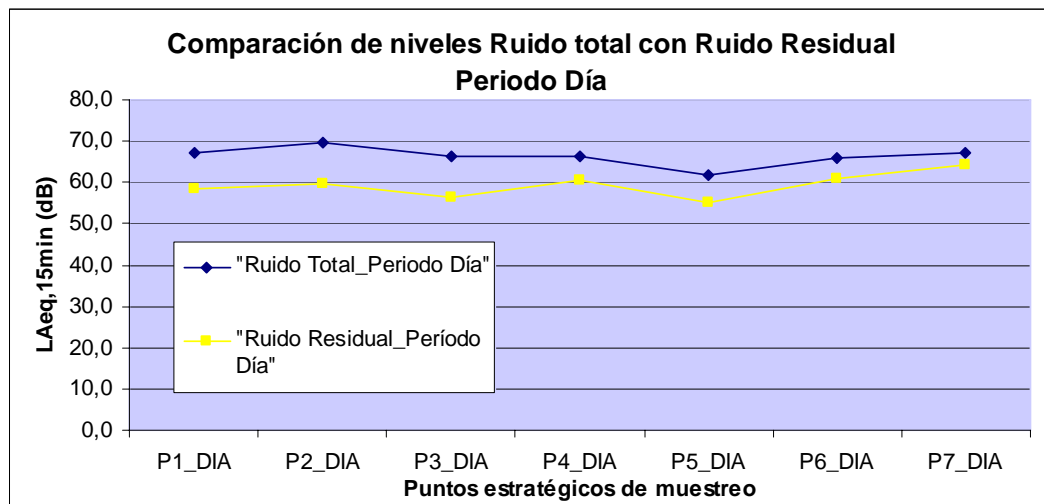
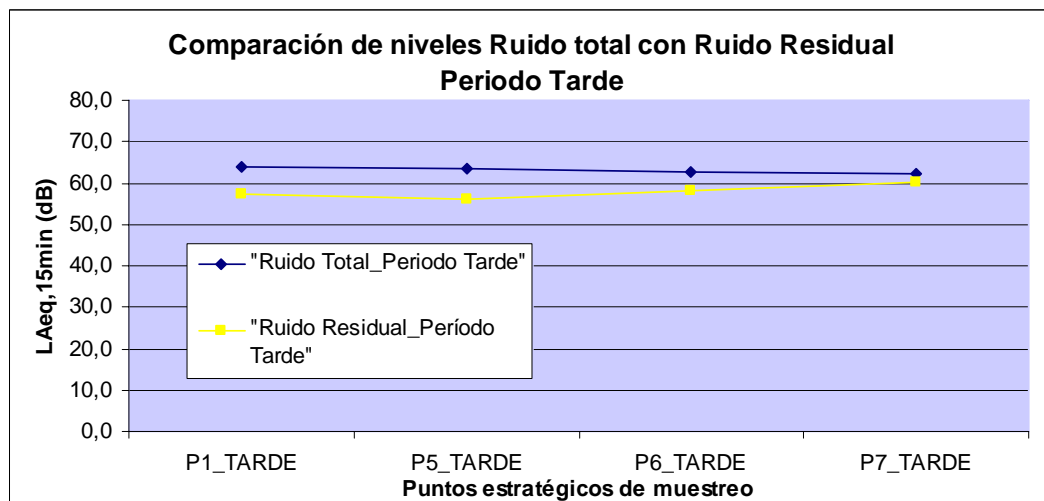


Figura 47. Comparación entre niveles de ruido total y residual. Periodo día y tarde.



3.7. Segunda campaña de mediciones. Comparación con la primera campaña.

A continuación se presentan las **tablas de resultados de ruido total** para los periodos día y tarde, correspondientes a las campañas de muestreo de 5 minutos en cada punto:

Ruido total	P1_DIA	P2_DIA	P3_DIA	P4_DIA	P5_DIA	P6_DIA	P7_DIA
Muestra 1 (5 min)	69,4	68,6	68,7	66,3	60,0	64,8	63,6
Muestra 2 (5 min)	68,1	72,5	64,9	60,5	65,1	66,0	67,5
Muestra 3 (5 min)	67,0	60,4	63,5	70,1	66,6	65,9	68,7
Muestra 4 (5 min)	68,4	-	61,4	69,7	66,1	59,8	70,1
Desviación (σ)	1,0	6,2	3,1	4,4	3,0	2,9	2,8
Máximo (A)	69,4	72,5	68,7	70,1	66,6	66,0	70,1
Promedio arit.(B)	68,2	67,2	64,6	66,6	64,4	64,1	67,5
Mínimo.(C)	67,0	60,4	61,4	60,5	60,0	59,8	63,6
Prom.ener. (D)	68,3	69,4	65,5	67,9	65,0	64,7	68,1
Muestra 15 min. (E)	67,2	69,8	66,2	66,5	61,8	65,8	67,3
A-E	2,2	2,7	2,5	3,6	4,8	0,2	2,9
B-E	1,1	-2,6	-1,6	0,2	2,6	-1,7	0,2
C-E	-0,2	-9,4	-4,8	-6,0	-1,8	-6,0	-3,6
D-E	1,1	-0,4	-0,7	1,5	3,3	-1,1	0,8

Tabla. XXXIII. Niveles de ruido total en cuatro muestras de cinco minutos.
Periodo día.

En la tabla XXXIII se observa como el nivel de presión sonora promedio de las 4 muestras de cinco minutos en periodo día (presentado como "Prom.ener.D"), es el cálculo que mejor se ajusta a la muestra de 15 minutos, con diferencias "D-E" en valor absoluto menores a 1,5 dBA en todos los puntos estratégicos de muestreo, salvo en el punto P5_DÍA (por encima de 3 dBA).

Ruido total	P1_TARDE	P5_TARDE	P6_TARDE	P7_TARDE
Muestra 1 (5 min)	64,0	66,2	61,9	64,6
Muestra 2 (5 min)	61,8	54,0	60,8	61,5
Muestra 3 (5 min)	-	-	-	-
Muestra 4 (5 min)	-	-	-	-
Desviación (σ)	1,5	8,7	0,8	2,2
Máximo (A)	64,0	66,2	61,9	64,6
Promedio arit.(B)	62,9	60,1	61,4	63,0
Mínimo.(C)	61,8	54,0	60,8	61,5
Prom.ener. (D)	63,0	63,5	61,4	63,3
Muestra 15 min. (E)	63,8	63,5	62,7	62,3
A-E	0,2	2,8	-0,8	2,3
B-E	-0,9	-3,3	-1,3	0,8
C-E	-2,0	-9,5	-1,9	-0,8
D-E	-0,8	0,0	-1,3	1,0

Tabla. XXXIV. Niveles de ruido total en cuatro muestras de cinco minutos. Periodo tarde

En periodo tarde el nivel de presión sonora promedio de las 4 muestras también se ajusta bien a la muestra de 15 minutos en todos los puntos, con diferencias “D-E” en valor absoluto menores a 1,5 dBA.

Respecto a las **tablas de resultados de ruido residual**, los niveles registrados para los periodos día y tarde, correspondientes a las campañas de muestreo de 5 minutos en cada punto fueron los siguientes:

Ruido residual	P1_DIA	P2_DIA	P3_DIA	P4_DIA	P5_DIA	P6_DIA	P7_DIA
Muestra 1 (5 min)	61,3	59,4	56,7	59,9	55,0	62,1	63,6
Muestra 2 (5 min)	54,3	59,2	55,9	60,5	55,3	60,6	64,5
Muestra 3 (5 min)	55,8	59,5	55,2	57,2	57,4	60,2	64,5
Muestra 4 (5 min)	59,0	-	53,8	60,4	58,1	59,8	65,2
Desviación (σ)	3,1	0,1	1,2	1,6	1,6	1,0	0,6
Máximo (A)	61,3	59,5	56,7	60,5	58,1	62,1	65,2
Promedio arit.(B)	57,6	59,4	55,4	59,5	56,5	60,7	64,4
Mínimo.(C)	54,3	59,2	53,8	57,2	55,0	59,8	63,6
Prom.ener. (D)	58,4	59,4	55,5	59,7	56,7	60,8	64,5
Muestra 15 min. (E)	61,3	59,4	56,7	59,9	55,0	62,1	63,6
A-E	0,0	0,1	0,0	0,5	3,2	0,0	1,5
B-E	-3,7	0,0	-1,3	-0,5	1,5	-1,4	0,8
C-E	-7,0	-0,2	-2,9	-2,8	0,0	-2,3	0,0
D-E	-2,9	0,0	-1,2	-0,3	1,7	-1,3	0,8

Tabla. XXXV. Niveles de ruido residual en cuatro muestras de cinco minutos. Periodo día

En la tabla XXXV se observa como el máximo de los niveles de presión sonora de las cuatro muestras de cinco minutos en periodo día (presentado como “Máximo (A)”), es el cálculo que mejor se ajusta a la muestra de 15 minutos, con diferencias “A-E” en valor absoluto menores a 1,5 dBA en todos los puntos estratégicos de muestreo, salvo en el punto P5_DÍA (por encima de 3 dBA).

Ruido residual	P1_TARDE	P5_TARDE	P6_TARDE	P7_TARDE
Muestra 1 (5 min)	52,4	55,5	59,7	60,6
Muestra 2 (5 min)	55,4	54,0	58,0	61,0
Muestra 3 (5 min)	-	-	-	-
Muestra 4 (5 min)	-	-	-	-
Desviación (σ)	2,2	1,0	1,2	0,3
Máximo (A)	55,4	55,5	59,7	61,0
Promedio arit.(B)	53,9	54,7	58,8	60,8
Mínimo.(C)	52,4	54,0	58,0	60,6
Prom.ener. (D)	54,2	54,8	58,9	60,8
Muestra 15 min. (E)	52,4	55,5	59,7	60,6
A-E	3,1	0,0	0,0	0,4
B-E	1,5	-0,7	-0,9	0,2
C-E	0,0	-1,5	-1,7	0,0
D-E	1,8	-0,7	-0,8	0,2

Tabla. XXXVI. Niveles de ruido residual en cuatro muestras de cinco minutos.

Periodo tarde

En el periodo tarde, y viendo las diferencias iguales o menores a 1,5 dBA en la tabla anterior, el promedio tanto aritmético como energético de las cuatro muestras se ajusta muy bien al muestreo de 15 minutos. Calculando la diferencia “B-E” todos los valores quedan dentro del rango comentado anteriormente, y en la diferencia “D-E” sólo el punto P1_TARDE presenta un valor ligeramente por encima de 1,5. En el cálculo “A-E” el punto P1_TARDE se descuadra mucho del rango, y en el “C-E” existen dos diferencias ajustadas y dos con valores igual o superior a 1,5 dBA. Se adjuntan todos los gráficos de comparación entre niveles de ruido total y ruido residual.

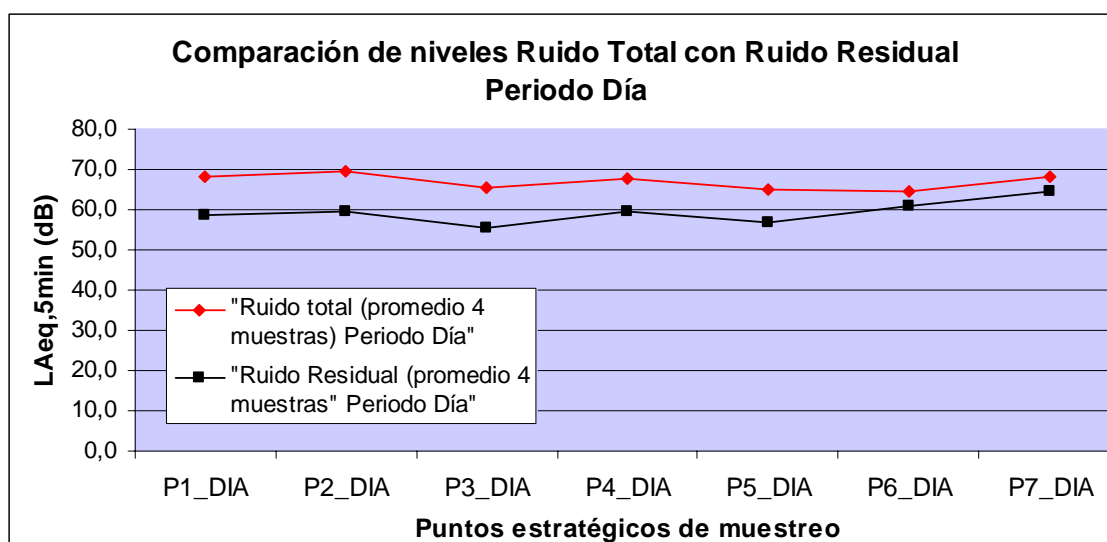


Figura 48. Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual en cuatro muestras de 5 minutos. Periodo día.

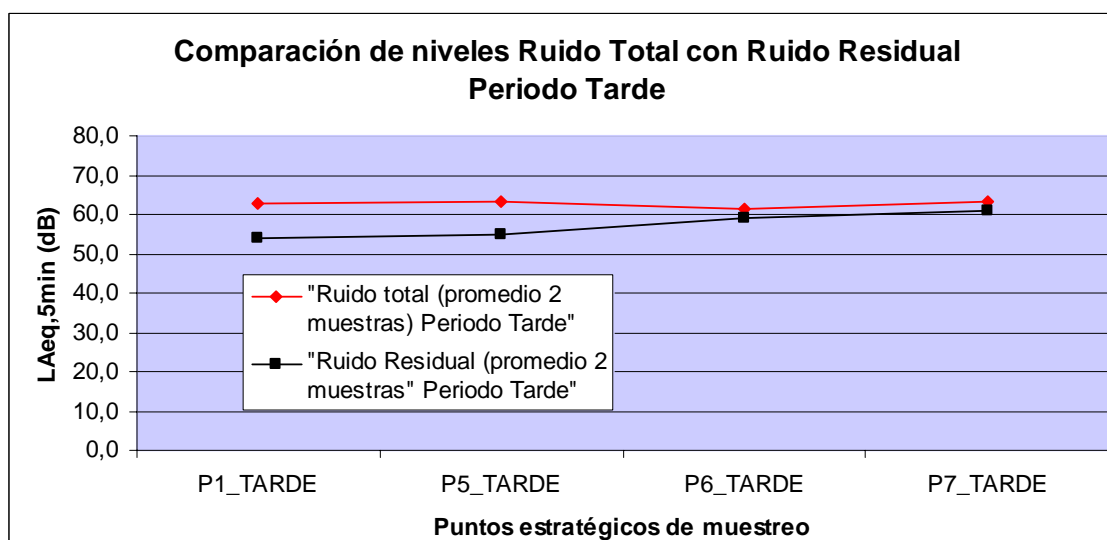


Figura 49. Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual en cuatro muestras de 5 minutos. Periodo tarde.

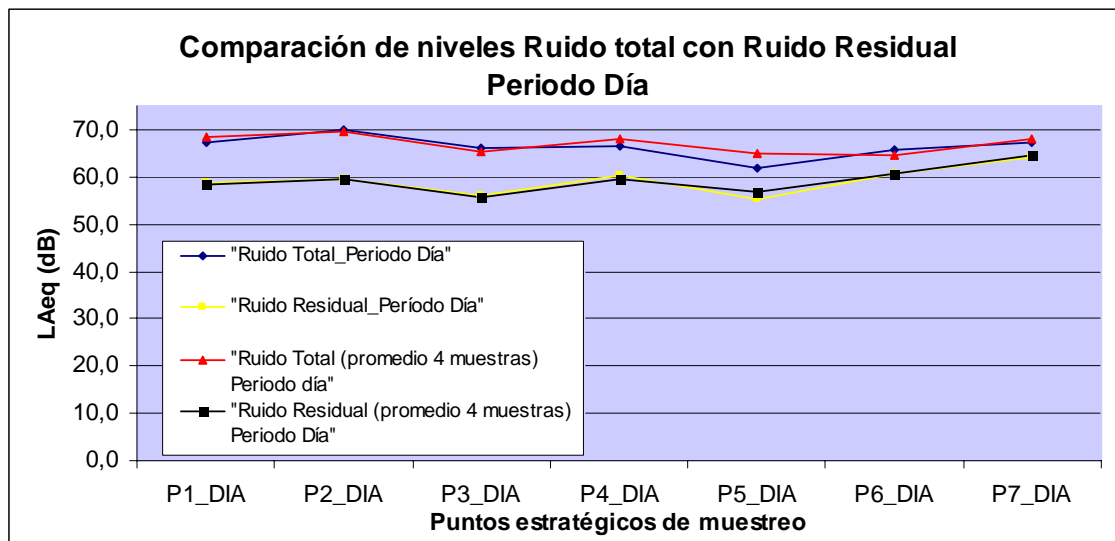


Figura 50. Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual. Muestra de 15 minutos y muestras de 5 minutos. Periodo día.

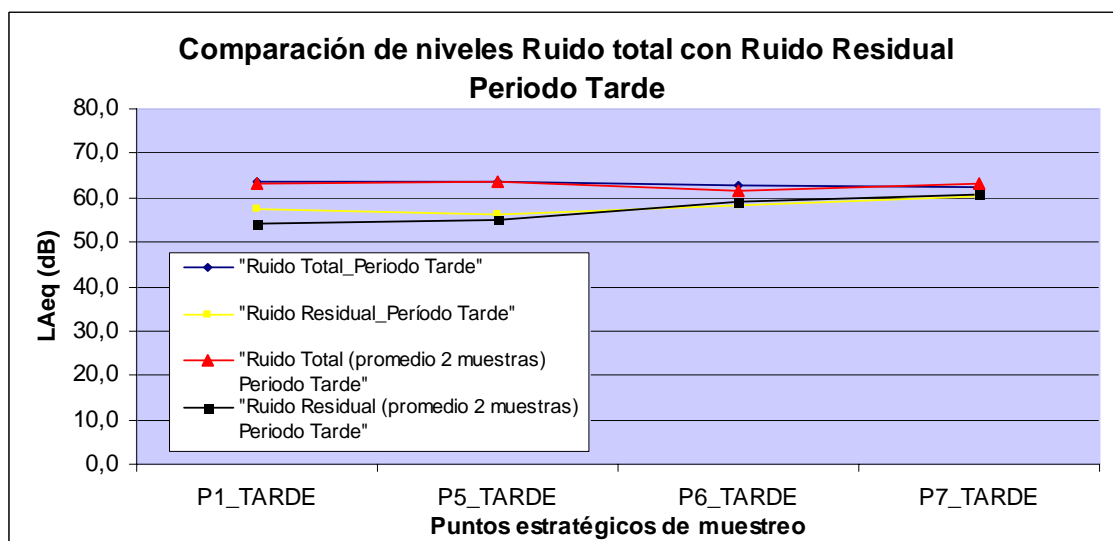


Figura 51. Comparación entre niveles de ruido total y ruido residual. Muestra de 15 minutos y muestras de 5 minutos. Periodo tarde.

3.8. Conclusiones

Una vez obtenidos los niveles de ruido total y ruido residual en la zona objeto de estudio, y comparando las dos formas de realizar las campañas de muestreo (la primera con 1 muestra de 15 minutos en cada punto, y la segunda con 4 muestras de 5 minutos), se puede concluir que el índice Nivel de presión sonora promedio (L_{Pm}) de las muestras analizadas, estima correctamente los niveles obtenidos en el muestreo de larga duración.

Se observa que la desviación típica de los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A correspondiente al ruido total (con todas las fuentes operando), es mucho mayor que la desviación típica de los niveles correspondiente al ruido residual (con todas las fuentes funcionando salvo el ruido procedente del paso de trenes de cercanías y del tráfico aéreo por la zona), ya que la desviación respecto a la media de todas las medidas de 5 segundos que engloban la medida total, aumenta al tener presente las fuentes de ruido intermitente junto a las fuentes de ruido residual.

Si se compara el valor global durante el periodo día (calculado como nivel de presión sonora promedio de todos los niveles registrados en los puntos de muestreo), con el nivel proporcionado por la huella aérea de Barajas del año 2010 para el mismo periodo (isófona de 67 dB en periodo diurno), la diferencia es de 0,1 dB. Esta comprobación justifica que los niveles muestreados en la zona de estudio se pueden considerar buenos para validar la modelización posterior, y para reforzar lo comentado en el primer párrafo de conclusiones. Se adjuntan los niveles globales del muestreo de 15 minutos:

NIVELES DE PRESIÓN SONORA PROMEDIO L_{Pm}									
Fuente operando:	Índice	P1 DÍA	P2 DÍA	P3 DÍA	P4 DÍA	P5 DÍA	P6 DÍA	P7 DÍA	L_{Pm}
Todas	$L_{Aeq,15m}$	67,2	69,8	66,2	66,5	61,8	65,8	67,3	66,9
Todas menos Trenes y Aviones	$L_{Aeq,15m}$	58,6	59,5	56,2	60,4	55,1	60,8	64,1	60,1

Tabla. XXXVII. Niveles de presión sonora promedio. Ruido total y ruido residual.
Periodo día.

NIVELES DE PRESIÓN SONORA PROMEDIO L_{Pm}									
Fuente operando:	Índice	P1 TARDE	P2 TARDE	P3 TARDE	P4 TARDE	P5 TARDE	P6 TARDE	P7 TARDE	L_{Pm}
Todas	$L_{Aeq,15m}$	63,8	-	-	-	63,5	62,7	62,3	63,1
Todas menos Trenes y Aviones	$L_{Aeq,15m}$	57,3	-	-	-	56,1	58,3	60,1	58,2

Tabla. XXXVIII. Niveles de presión sonora promedio. Ruido total y ruido residual.
Periodo tarde.

En la evaluación del ruido total existente en la zona de estudio, una vez se analiza el ruido específico e intermitente asociado a sucesos aislados, como son el ruido de aviones y el ruido de trenes, se confirma:

- La existencia de componentes tonalidad en un 36% de los pasos de aviones registrados (un 27% con penalizaciones de 3 dB en todos los rangos de frecuencia que establece el Real Decreto 1367, y un 9% con penalizaciones de 6 dB en el rango de 500 a 10000 Hz).
- La existencia de componentes tonalidad en un 55% de los pasos de trenes registrados (un 44% con penalizaciones de 3 dB en todos los rangos de frecuencia que establece el Real Decreto 1367, y un 11% con penalizaciones de 6 dB en el rango de 160 a 400 Hz).
- Una vez analizadas las huellas acústicas de los pasos de aviones que sobrevuelan la zona, se concreta la existencia de componentes de baja frecuencia en un 41,5% de los pasos de aviones registrados, todos con penalización de 3 dB, y produciéndose siempre diez segundos después de la medida correspondiente al máximo de la huella acústica.
- Una vez analizadas las huellas acústicas de los pasos de trenes de cercanías que pasan por la zona, se concreta la existencia de componentes de baja frecuencia en un 33% de los pasos de trenes

registrados, un tercio con penalización de 6 dB y el resto con penalización de 3 dB, y produciéndose siempre de 10 a 20 segundos después de la medida correspondiente al máximo de la huella acústica.

- No aparecen componentes de impulsividad en ninguna de las fuentes analizadas.

4

Fase 2:
Estimación de los
niveles existentes
en la zona de
estudio

4.1. Metodología utilizada

La metodología que se propone para estimar los niveles sonoros presentes en la zona de estudio se basa por una parte en las exigencias que el **Real Decreto 1367/2007** y el **Real Decreto 1513/2005** imponen al contenido del presente proyecto, y por otra en los conocimientos actualmente existentes en el ámbito de la predicción de los niveles sonoros en ambiente exterior, ajustando y validando convenientemente el modelo a las medidas realizadas “in situ” en la zona, de forma que el proyecto sea una herramienta útil y adecuada para evaluar los niveles de presión sonora en el ámbito de estudio. Como consideraciones iniciales destacamos las siguientes:

- Los períodos temporales de evaluación que se van a emplear son los contemplados en el Anexo 1 del Real Decreto 1367/2007 y del Real Decreto 1513/2005; período día (12 horas, de 7:00 a 19:00 horas), período tarde (4 horas, de 19:00 a 23:00 horas), y período noche (8 horas, de 23:00 a 7:00 horas). Los índices de ruido que se van a cartografiar son el L_d (día), y el L_e (tarde).
- Los métodos de cálculo recomendados para la evaluación de estos índices de ruido (mencionados anteriormente en el punto 2.4.2), son los establecidos en el apartado 2, del anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre.
- Se prescinde de las actuaciones a medio plazo y de las indicaciones estratégicas a largo plazo, que escapan de las competencias y objetivos de este documento.
- No se evalúa la población expuesta al ruido.

4.2. Software empleado

Según el Real Decreto 1513/2005, de 16/12/2005, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, un **mapa de ruido** es la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un índice de ruido, en la que se indicará la superación de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un índice de ruido en una zona específica.

En el Anexo 2 de dicho Real Decreto, se explica que los valores de los índices de ruido pueden determinarse, bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación), y que **las predicciones sólo se pueden obtener mediante cálculos.**

En esta Fase 2 del proyecto, se llevan a cabo una serie de modelizaciones informáticas que simulan el grado de inmisión acústica del área considerada frente a las fuentes de ruido principales.

Los resultados han sido obtenidos mediante **software específico para el cálculo de niveles de ruido.** La gestión cartográfica y los mapas finales se han elaborado mediante programas de CAD y sistemas de información geográfica (SIG).

El programa empleado en este proyecto es el **software IMMI 6.3.1e**, destinado a la predicción de ruido en espacios exteriores, simulando tráfico rodado, ferroviario, y ruido industrial. Para este software están disponibles más de 20 métodos diferentes de cálculo, aprobados por la directiva europea e internacional. Con el programa se calcula la propagación del ruido exterior teniendo en cuenta la totalidad de los fenómenos físicos que intervienen en los caminos de difusión. Los resultados se presentan en forma de mapas de ruido.

4.3. Preparación del modelo

La preparación del modelo consiste en importar al software de predicción acústica todos los elementos geométricos necesarios para elaborar el mapa de ruido de la zona, junto a la información que tienen asociada dichos elementos.

Mientras más información se asigne a los elementos del modelo, mayor precisión se tendrá en la obtención de los cálculos de los niveles de presión sonora de la zona de estudio, y también más tiempo tardará el modelo en realizar dichos cálculos. Por lo tanto, es importante al principio del proyecto acotar o delimitar la zona de estudio, y estudiar el volumen y la calidad de la información de partida, con objeto de obtener resultados razonablemente buenos (incertidumbre baja) con tiempos de cálculo óptimos.

A continuación se presentan y describen todos los elementos que se han tenido en cuenta en la preparación del modelo para las zonas de uso residencial ubicadas en

el Barrio de “La Estación”, en el entorno de la Avenida San Pablo, y los datos de entrada al mismo:

Definición del entorno de estudio

Para el estudio de ruido específico que se va a realizar como parte de este proyecto se ha optado por definir como entorno de estudio todos los terrenos y elementos existentes dentro de la urbanización existente entorno a la Avenida San Pablo, y la topografía y fuentes sonoras existentes tanto dentro como en una banda de 500 m. de ancho alrededor del ámbito. De esta forma se obtienen niveles de detalle más adecuados al fin perseguido, al considerarse las fuentes de ruido existentes en zonas suficientemente próximas como para influir en el interior del ámbito de estudio.

Cartografía

Para la aplicación del programa de evaluación sonora que se ha descrito, todos los elementos que resultan relevantes a efectos de la propagación del sonido se han incluido en el modelo informático, generado a partir de la cartografía a escala 1:5.000.

Se importa toda la información correspondiente a la capa altimetría (curvas de nivel) y planimetría de la zona.

Los edificios se digitalizan en autocad previamente, como polilíneas cerradas, y se importan al IMMI 6.3.1e con formato *.dxf de autocad.

La digitalización se realiza sobre la descarga de una imagen georreferenciada en Autocad 2007, procedente de la información procedente de IBERPIX (Ortofotos y Cartografía ráster).

Se adjuntan imágenes del proceso realizado antes de iniciar la importación de todos los elementos geométricos desde IMMI 6.3.1e.

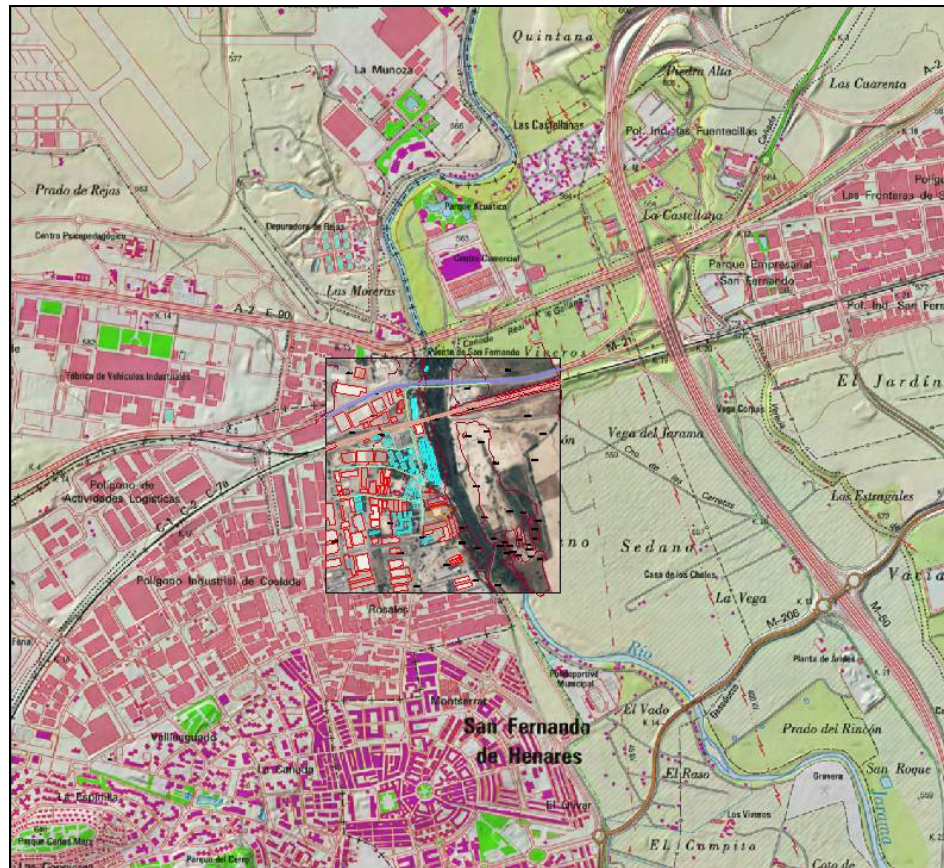


Figura 52. Imagen georreferenciada de la zona de estudio con IBERPIX.



Figura 53. Digitalización de la zona de estudio con Autocad 2007

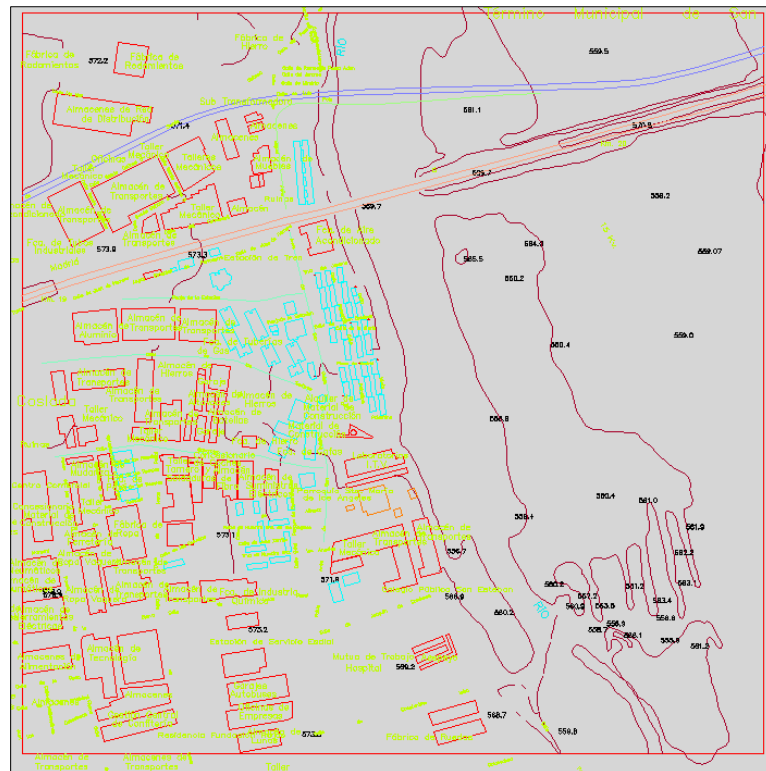


Figura 54. Vista de la digitalización de edificios e importación de altimetría

De esta forma este modelo informatizado del entorno de estudio incorpora los siguientes elementos:

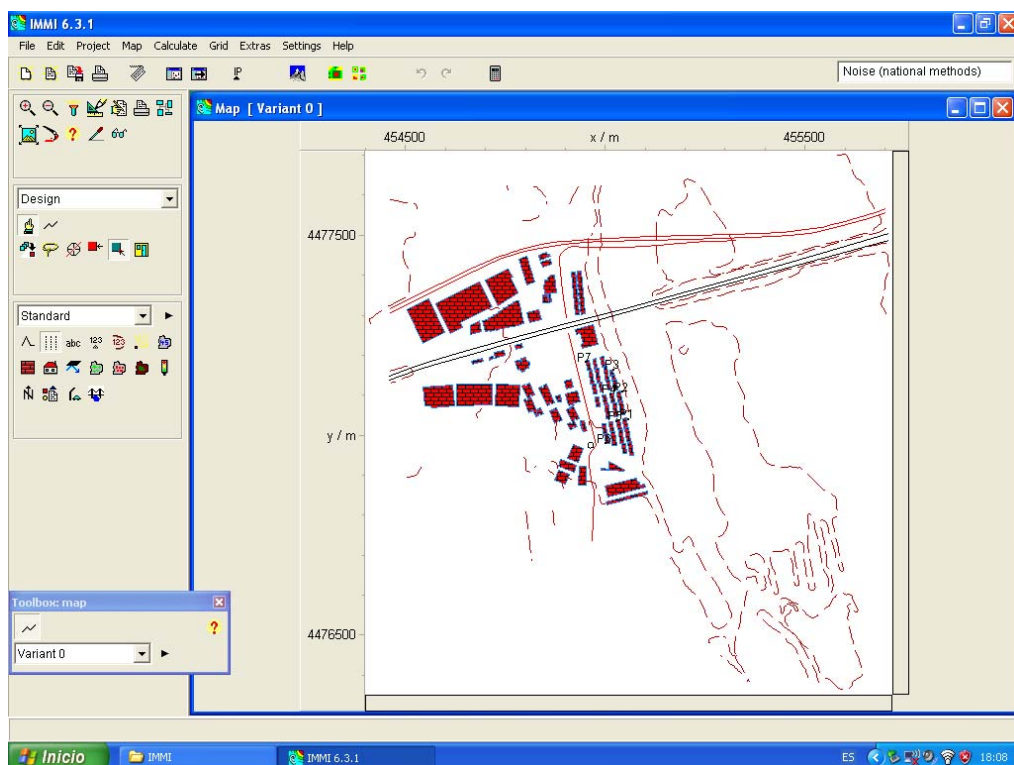


Figura 55. Importación de todas las capas con IMMI 6.3.1e

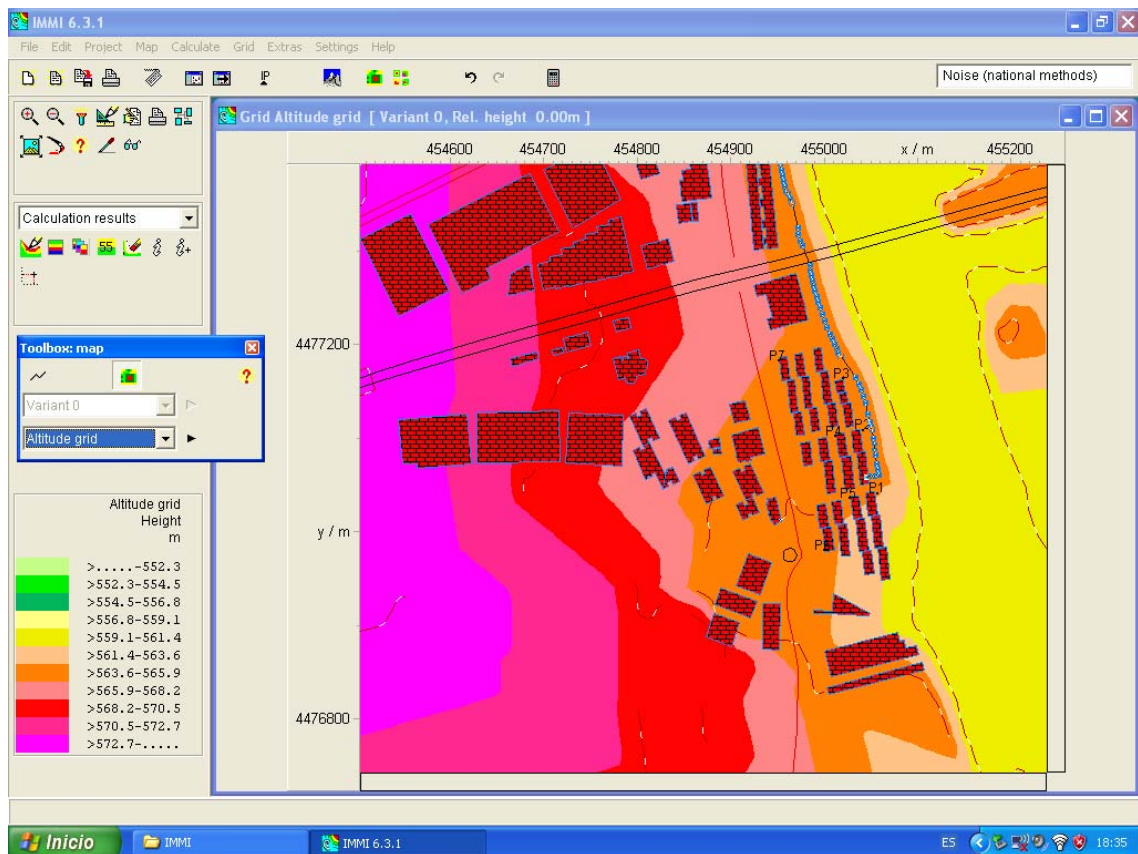


Figura 56. Grid de altitudes (m) para la zona de estudio

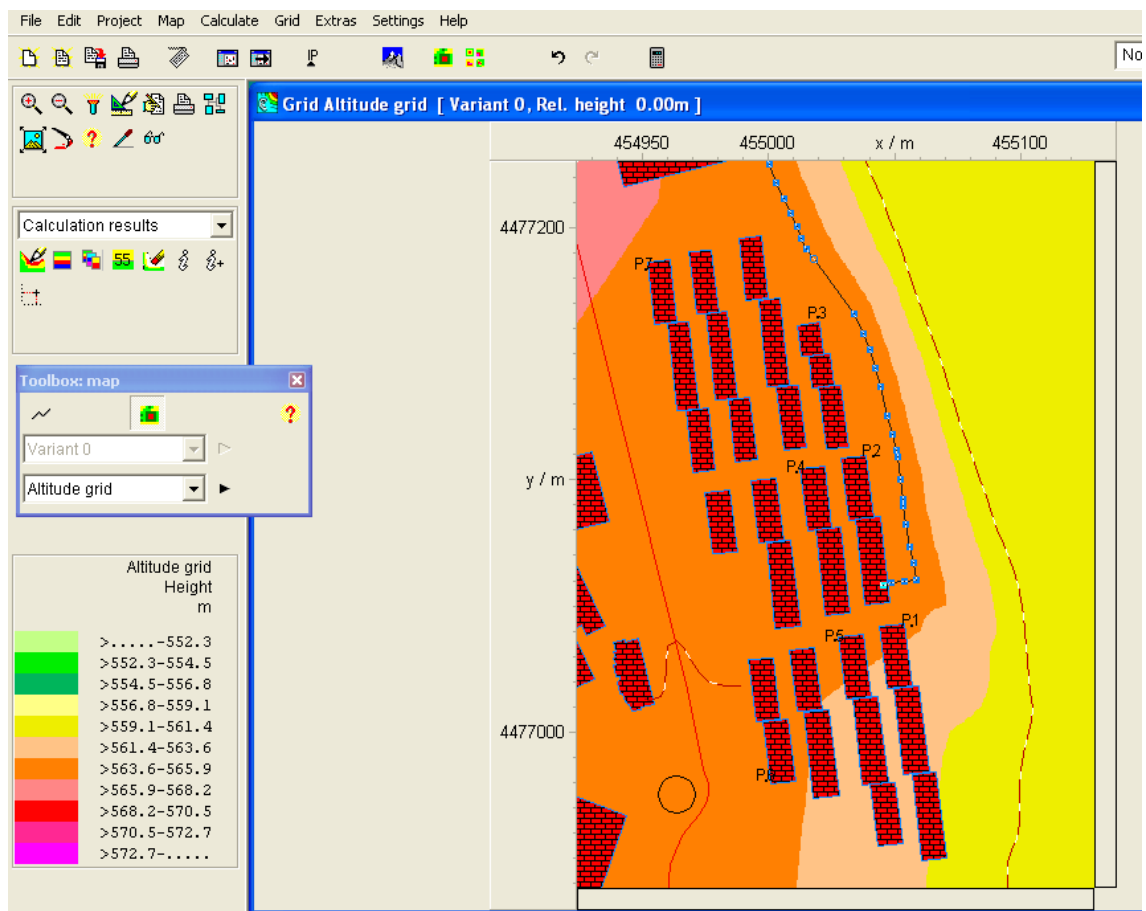


Figura 57. Zoom del grid de altitudes (m) para la zona de estudio

Fuentes de ruido:

Se importa en formato *.dxf de Autocad, toda la información correspondiente a la capa carreteras (Avenida San Pablo, y carretera M-21), y a la capa trenes (Red ferroviaria, correspondiente a las líneas de cercanías C-1, C-2 y C-7a).

Receptores del mapa de ruido:

Coinciden con los siete puntos estratégicos donde se han realizado las medidas con sonómetro. Se observan en la Figura 45.

Se adjunta en las Figuras 55, 56, y 57 un esquema con los elementos lineales (fuentes de ruido comentadas anteriormente), y poligonales (elementos de apantallamiento en la propagación de ruido ambiental) que se importan al modelo.

4.4. Datos de entrada al modelo

Una vez importados todos los objetos se **asigna información** a cada tipo de objeto:

Cartografía

- Se comprueba que las curvas de nivel presentan su elevación correspondiente.
- Se ajustan los edificios al terreno (ajustando cada uno de ellos al Modelo Digital del terreno) y se les asigna altura relativa (14 metros para los edificios residenciales objeto de estudio).

Fuentes de Ruido:

- Se comprueba que las carreteras se encuentran correctamente sobre el suelo.
- Se comprueba que no haya intersecciones entre carreteras y vías del tren, y que no quedan por debajo del nivel del suelo.
- Se asigna a cada carretera su anchura correspondiente.

- Se asigna a las diferentes carreteras el aforo de tráfico y la velocidad estimada, de acuerdo con los datos de la DGT consultados el día de las medidas in situ y el conteo de vehículos llevado a cabo durante la realización de estas medidas in situ.

La configuración del tráfico en las fuentes de ruido que afectan al Barrio de “La Estación”:

Avenida San Pablo y Carretera M-21:

2013		Total	Día	Tarde
Avenida San Pablo	IMH Ligeros	1.262	1.060	202
	IMH Pesados	98	86	12
	Total	1.360	1.146	214

Tabla. XXXIX. Aforo (IMH) introducido en el IMMI para la Avenida San Pablo.

En el modelo se han introducido como datos iniciales para el tramo, una velocidad de **50 km/h para ligeros** y de **40 km/h para pesados**.

Se considera que el tráfico en este tramo de la Avenida San Pablo es **desacelerado**, por la existencia de semáforos y rotonda.

Se modeliza con un **ancho de vía de nueve (9) metros** en el tramo que afecta a la zona de estudio, y con un **ancho de siete (7) metros** en la incorporación a la M-21 (tráfico acelerado).

2013		Total	Día	Tarde
Carretera M-21	IMD Ligeros	43.957,9	32.968,4	10.989,5
	IMD Pesados	4.142,2	3.106,6	1.035,5

2013		Total	Día	Tarde
	Total	48.100,1	36.075,1	12.025,0

Tabla. XL. Aforo (IMH) introducido en el IMMI para la M-21.

En el modelo se han introducido como datos iniciales para el tramo que afecta a la zona de estudio, una velocidad de **97,7 km/h para ligeros** y de **83,4 km/h para pesados**.

Se considera que el tráfico en dicho tramo de la M-21 es **acelerado**.

Se modeliza con un **ancho de vía de dieciséis (16) metros**.

Los datos introducidos en el modelo para los periodos día y tarde son los correspondientes al **índice medio horario**, considerando 12 horas para el periodo diurno y 4 horas para el periodo tarde.

Tráfico de Cercanías y Regionales:

Los datos introducidos en el modelo para los periodos día y tarde son los correspondientes al **índice medio horario**, considerando **24 trenes/hora** para el periodo diurno y **22,5 trenes/hora** para el periodo tarde.

En el modelo se ha introducido como dato inicial para el tramo que afecta a la zona de estudio, una velocidad de **70 km/h**. Se considera que el tráfico es **desacelerado**, porque se produce el frenado de los trenes que llegan a la estación y el arranque y salida de los trenes que salen de la misma.

Teniendo en cuenta las categorías de trenes que establece el Método nacional de cálculo de los Países Bajos (diferenciados por su sistema de propulsión y frenado), se modelizan con “**Categoría 8_Tipo Intercity o trenes lentos con frenos de disco**” todos los trenes que pasan por el ámbito de estudio, y con tipo de vía b=5 (vía con bloques sobre balasto).

Tráfico de Aviones:

No se dispone de módulo de cálculo para el ruido de aviones, por lo que no es posible modelizarlo.

Se realiza un cálculo teórico con la información obtenida en las campañas de medidas “in situ”, para estimar el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante el periodo día y tarde. De esta forma se consigue tener un valor teórico para ambos periodos, y compararlo posteriormente con los niveles medidos, y con los niveles proporcionados por la huella acústica de AENA.

Periodo día: 07:00 a 19:00 horas (Tiempo total: 12 horas)

12 horas = 720 minutos = **43.200 segundos**

Número de aviones que pasan en 1 hora (calculado como media): **14 aviones**

Número de aviones que pasan en periodo día: $14 \times 12 =$ **168 aviones**

Tipo de aviones	Distribución de aviones (%)	Nº de aviones	Tiempo de paso (s)	Tiempo total (s)	Porcentaje de tiempo sobre total (%)	L _{Aeq} (T)
73,5 - 76,5	17,78	29,9≈30	10	300	0,7	74,9
76,5– 79,5	26,67	44,8≈45	10	450	1,0	78,0
79,5 -Adel	55,56	93,3≈93	15	1.395	3,2	81,4
		168	Tiempo total (s)	2.145	5,0	

Tabla. XLI. Cálculo teórico del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para el periodo día. Fuente: Ruido de aviones por la zona.

Tiempo total de ruido residual (segundos): $43.200 - 2.145 =$ **41.055 segundos**

El nivel de presión sonora continuo equivalente de cada una de las categorías de aviones se calcula como promedio de los niveles de la categoría.

El nivel de presión sonora promedio correspondiente al ruido residual existente en periodo día, se calcula con los niveles obtenidos en los siete (7) puntos estratégicos:

NIVELES DE PRESIÓN SONORA PROMEDIO L_{Pm}

Fuente operando:	Índice	P1 DÍA	P2 DÍA	P3 DÍA	P4 DÍA	P5 DÍA	P6 DÍA	P7 DÍA	L_{Pm}
Todas menos Trenes y Aviones	$L_{Aeq,15m}$	58,6	59,5	56,2	60,4	55,1	60,8	64,1	60,1

Tabla. XLII. Nivel de presión sonora promedio. Ruido residual. Periodo día.

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante el **periodo día** se calcula como:

$$L_{Aeq}(43200s)(dia) = 10 \cdot \log \left[\left(\frac{1}{43200} \right) (1395s \cdot 10^{\frac{81,4}{10}} + 450s \cdot 10^{\frac{78,0}{10}} + 300 \cdot 10^{\frac{74,9}{10}} + 41055 \cdot 10^{\frac{60,1}{10}}) \right]$$

$$= \mathbf{68,0 \text{ dBA}}$$

Si comparamos el nivel calculado anteriormente con el nivel que proporciona la isófona que pasa por dicha zona (según la huella acústica de Barajas para el año 2010), la diferencia es de 1 dBA.

Periodo tarde: 19:00 a 23:00 horas (Tiempo total: 4 horas)

4 horas = 240 minutos = **14.400 segundos**

Número de aviones que pasan en 1 hora (calculado como media): **14 aviones**

Número de aviones que pasan en periodo tarde: 4 x 14 = **56 aviones**

Tipo de aviones	Distribución de aviones (%)	Nº de aviones	Tiempo de paso (s)	Tiempo total (s)	Porcentaje de tiempo sobre total (%)	L_{Aeq} (T)
73,5 - 76,5	17,78	10	10	100	0,7	74,9
76,5– 79,5	26,67	14,9≈15	10	150	1,0	78,0
79,5 -Adel	55,56	31,1≈31	15	465	3,2	81,4

Tipo de aviones	Distribución de aviones (%)	Nº de aviones	Tiempo de paso (s)	Tiempo total (s)	Porcentaje de tiempo sobre total (%)	L _{Aeq} (T)
		56	Tiempo total (s)	715	5,0	

Tabla. XLIII. Cálculo teórico del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para el periodo tarde. Fuente: Ruido de aviones por la zona.

Tiempo total de ruido residual (segundos): 14.400 – 715= **13.685 segundos**

El nivel de presión sonora continuo equivalente de cada una de las categorías de aviones se calcula como promedio de los niveles de la categoría.

El nivel de presión sonora promedio correspondiente al ruido residual existente en periodo tarde, se calcula con los niveles obtenidos en los cuatro (4) puntos estratégicos:

NIVELES DE PRESIÓN SONORA PROMEDIO L _{Pm}									
Fuente operando:	Índice	P1 TARDE	P2 TARDE	P3 TARDE	P4 TARDE	P5 TARDE	P6 TARDE	P7 TARDE	L _{Pm}
Todas menos Trenes y Aviones	L _{Aeq,15m}	57,3	-	-	-	56,1	58,3	60,1	58,2

Tabla. XLIV. Nivel de presión sonora promedio. Ruido residual. Periodo tarde.

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante el **periodo tarde** se calcula como:

$$L_{Aeq}(14400s)(tarde) = 10 \cdot \log \left[\left(\frac{1}{14400} \right) \left(465s \cdot 10^{\frac{81,4}{10}} + 150s \cdot 10^{\frac{78,0}{10}} + 100 \cdot 10^{\frac{74,9}{10}} + 13685 \cdot 10^{\frac{58,2}{10}} \right) \right]$$

$$= \mathbf{67,8 \text{ dBA}}$$

Receptores del mapa de ruido:

- Se colocan los receptores a una altura igual a 1,5 metros en los puntos estratégicos del mapa sonoro, para realizar la validación del modelo con las medidas realizadas el día 13 de mayo de 2013.
- Una vez validado el modelo con las medidas realizadas a 1,5 metros de altura, se han calculado también los niveles de presión sonora a 4 metros sobre el suelo (altura a la que se calculan los mapas estratégicos de ruido según el Real Decreto 1513).
- En relación a las coordenadas UTM de los puntos estratégicos, sabemos que el sistema horario a aplicar es el Huso 30. En este proyecto se utiliza como sistema de proyección plano, el EUROPEAN DATUM 50.

4.5. Configuración del modelo

Antes de realizar el cálculo de los niveles de presión sonora en los puntos estratégicos de ruido del Barrio de “La Estación”, se configura el modelo de predicción acústica:

- Configuración de cálculos: Factor Ráster: 0,5 metros. Se realizan los cálculos en dos alturas: 1,5 m (periodos día y tarde) y 4 m (periodos día y tarde) sobre el nivel del suelo.
- Modelo del terreno: Triangulación
- Absorción del terreno: $G=0,5$
- Resolución (m): 2 m
- Cálculo de los carriles externos por separado: Se configura
- Normas utilizadas: Industria (ISO 9613), Carreteras (NMPB Routes 08), y Ferrocarril (SRMII). El ruido de aviones no puede modelizarse, al no disponerse de la licencia del IMMI con módulo de cálculo de aviones, por lo se ajusta posteriormente teniendo en cuenta el cálculo teórico realizado la Fase 3 y la huella acústica de Barajas.

- Se configuran las horas correspondientes a los tres periodos de referencia que marca nuestra legislación de ruidos (12 horas para el periodo día, 4 horas para el periodo tarde, y 8 horas para el periodo noche).
- No se aplica ningún tipo de penalización al modelo de predicción, ya que nuestro objetivo es validar el mapa que calcula el modelo con las medidas realizadas “in situ” en los periodos día y tarde. No tendría ningún sentido aplicar esta penalización al modelo que se está configurando, ya que al comparar con las medidas realizadas el día 13 de mayo la desviación estándar entre los niveles del modelo y las medidas sería muy alta.
- Orden máximo de reflexión: 2
- Corrección del ferrocarril: 0
- Coeficiente de incertidumbre de propagación: $3 \cdot \log_{10}(d/10)$. El modelo aplica un coeficiente de incertidumbre en la propagación del ruido ambiental, directamente proporcional a la distancia de cálculo.
- Se configura para el cálculo de inmisión en periodo día y tarde: L_d y L_e .
- Se configura la meteorología con la constante C_0 .

4.6. Estimación de los niveles sonoros existentes en la zona de estudio

En las figuras 58 y 59, se adjuntan los niveles de presión sonora día (Ld) y tarde (Le) calculados con el software de predicción acústica IMMI 6.3.1e en un plano situado a 1,5 metros de altura, una vez realizada la validación del modelo con las medidas “in situ”.

En Anejo 4 se presentan los siguientes planos:

- Plano 1: Plano de situación. Puntos estratégicos de muestreo.
- Plano 2: Niveles de presión sonora en plano a H=1,5 m. Periodo día. Sin ruido de aviones.
- Plano 3: Niveles de presión sonora en plano a H=1,5 m. Periodo día. Con ruido de aviones.
- Plano 4: Niveles de presión sonora en plano a H=1,5 m. Periodo tarde. Sin ruido de aviones.
- Plano 5: Niveles de presión sonora en plano a H=1,5 m. Periodo tarde. Con ruido de aviones.
- Plano 6: Niveles de presión sonora en plano a H= 4 m. Periodo día. Sin ruido de aviones.
- Plano 7: Niveles de presión sonora en plano a H= 4 m. Periodo día. Con ruido de aviones.
- Plano 8: Niveles de presión sonora en plano a H= 4 m. Periodo tarde. Sin ruido de aviones.
- Plano 9: Niveles de presión sonora en plano a H= 4 m. Periodo tarde. Con ruido de aviones.

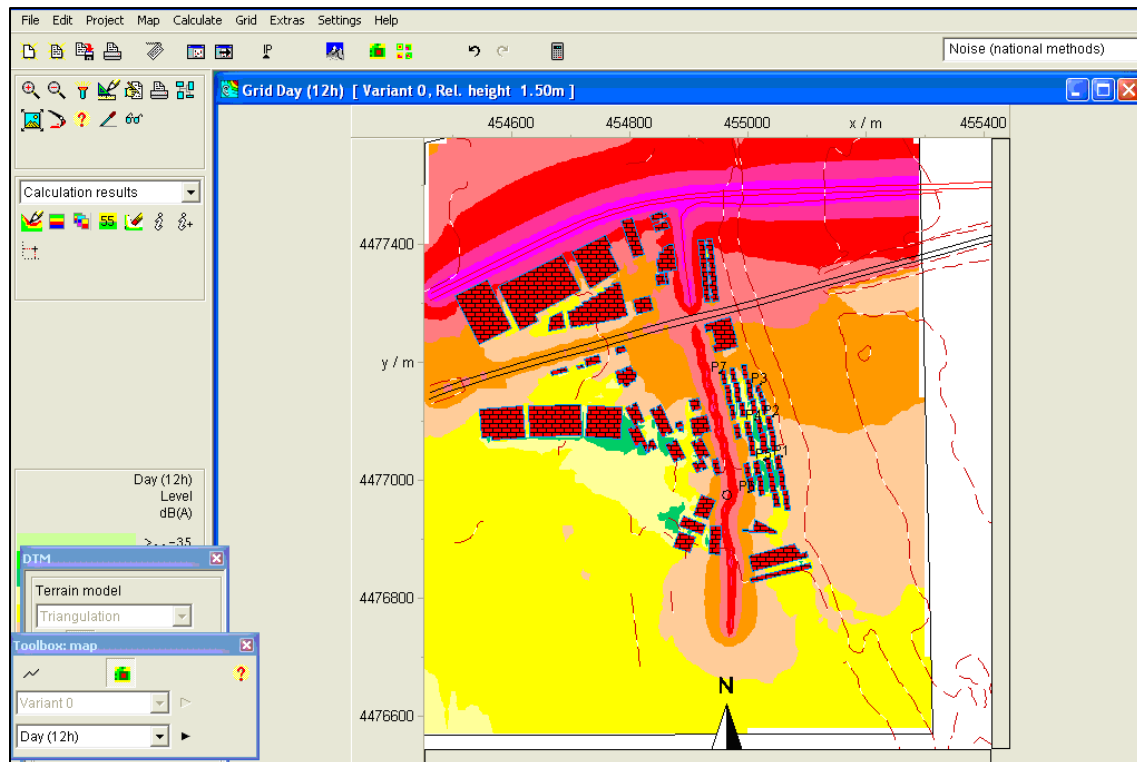


Figura 58. Cálculo de L_d a 1,5 m de altura. Modelo validado.

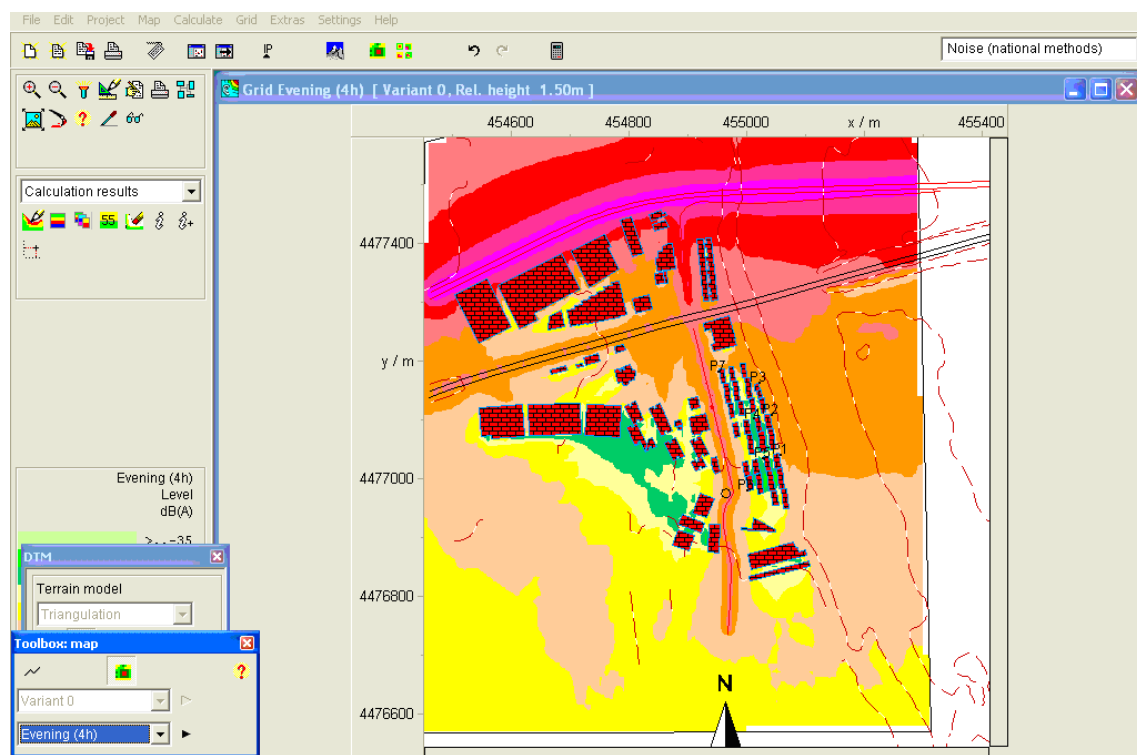


Figura 59. Cálculo de L_e a 1,5 m de altura. Modelo validado.

5

Fase 3:
Validación del
mapa de niveles
sonoros obtenido
en la Fase 2

5.1. Validación del modelo con la campaña de medidas “in situ”. Plano H=1,5 m.

Una vez configurado el modelo de predicción acústica para la zona de estudio, se calculan los niveles de presión sonora en los puntos estratégicos de ruido, a una altura del receptor de **1,5 metros**, para el periodo día (Ld) y para el periodo tarde (Le).

A continuación se comparan los niveles de presión sonora obtenidos en los siete (7) puntos estratégicos de muestreo, a partir de los niveles calculados mediante software de predicción acústica (IMMI) y los niveles obtenidos mediante medidas “in situ” en los puntos de evaluación, con objeto de validar el modelo.

Como no se dispone del módulo que calcula ruido de aviones, se realiza la predicción acústica con todas las fuentes operando (tráfico rodado, tráfico ferroviario, etc) salvo el tráfico de aeronaves por la zona. Los niveles de presión sonora obtenidos, se comparan con los niveles de presión sonora medidos (eliminando de los registros globales de cada punto, el conjunto de medidas de cinco segundos de duración cuyos niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A quedan dentro del L_{AE} práctico; niveles que se sitúan dentro de los 10 dB de su nivel de presión sonora máximo).

VALIDACIÓN DEL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) CON LAS MEDIDAS REALIZADAS “IN SITU” A 1,5 SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	L _{Aeq, 15} min	Desviación Estándar	Desviación de niveles en valor absoluto	Validación Modelo- Medidas
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (Día) dBA	Medidas (Día) dBA			
P1_DIA	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	55,5	59,2	2,6	3,7	> 1,5
P2_DIA	455.040,7	4.477.109,3	≈564,7	59,9	61,1	0,8	1,2	< 1,5
P3_DIA	455.018,8	4.477.164,3	≈564,7	61,5	59,3	1,6	2,2	> 1,5
P4_DIA	455.010,4	4.477.103,0	≈564,7	52,6	60,7	5,7	8,1	> 1,5
P5_DIA	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	43,0	56,1	9,3	13,1	> 1,5
P6_DIA	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	66,2	61,6	3,3	4,6	> 1,5

VALIDACIÓN DEL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) CON LAS MEDIDAS REALIZADAS “IN SITU” A 1,5 SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	L _{Aeq, 15 min}	Desviación Estándar	Desviación de niveles en valor absoluto	Validación Modelo-Medidas
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (Día) dBA	Medidas (Día) dBA			
P7_DIA	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	67,7	64,1	2,5	3,6	> 1,5

Tabla. XLV. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo día.

Se calcula la desviación entre los niveles de salida del modelo y los niveles medidos para los siete puntos estratégicos, obteniendo en valor absoluto diferencias entre ambos valores superiores a 1,5 dB en todos los puntos (salvo en el punto P2), por lo que es necesario ajustar el modelo modificando los parámetros de entrada al mismo.

En el punto P1, el nivel de presión sonora calculado es inferior al medido. La desviación entre ambos niveles es superior a 3 dB, por lo que la validación no se considera aceptable.

En el punto P2, la desviación de niveles modelo-medidas es inferior a 1,5 dB. Se considera que **la validación es aceptable**.

En el punto P3 (punto de control de los niveles de inmisión acústicos procedentes del tráfico ferroviario), el nivel de presión sonora calculado es ligeramente superior al medido, presentando una desviación de nivel de 2,2 dB en valor absoluto. Para ajustar el modelo se modifica la velocidad de entrada de los trenes a la estación de San Fernando.

En los puntos P4 y P5 (interiores a las edificaciones objeto de estudio), los niveles de presión sonora calculados por el modelo son muy bajos en comparación con los medidos. La desviación estándar entre ambos niveles es muy alta, y la validación se considera no aceptable.

En los puntos P6 y P7 (puntos de control de los niveles procedentes de la Avenida San Pablo), los niveles de presión sonora calculados son superiores a los niveles medidos (con desviaciones de nivel superiores a 3 dB), por lo que se ajusta el modelo modificando las velocidades de los vehículos en el tramo de estudio.

5.1.1. Ajuste del modelo: modificación de las velocidades de los vehículos en la Avenida San Pablo y del tráfico ferroviario

Se consideran como ajustes del modelo:

- La reducción de velocidad en la Avenida San Pablo, tanto para vehículos ligeros como pesados. Dicha modificación se implanta en el modelo, disminuyendo en 10 km/h las velocidades introducidas inicialmente (en base a la señalización existente en la zona), de tal forma que los datos modificados quedarían de la siguiente forma: **40 km/h para ligeros y 30 km/h para pesados.**
- La disminución de velocidad en la entrada de trenes de cercanías a la estación de San Fernando, con reducción de la velocidad a su paso por la zona de estudio en un 50% respecto al dato de entrada inicial (en base a la señalización existente en la vía), de tal forma que el dato modificado quedaría de la siguiente forma: **35 km/h para la circulación de trenes de Cercanías.**

A continuación se vuelven a comparar los niveles de presión sonora obtenidos con el modelo con los niveles de presión sonora medidos:

VALIDACIÓN DEL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) CON LAS MEDIDAS REALIZADAS "IN SITU" A 1,5 SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	L _{Aeq, 15 min}	Desviación Estándar	Desviación de niveles en valor absoluto	Validación Modelo-Medidas
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (Día) dBA	Medidas (Día) dBA			
P1_DIA	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	58,5	59,2	0,5	0,7	< 1,5
P2_DIA	455.040,7	4.477.109,3	≈564,7	59,8	61,1	0,9	1,3	< 1,5
P3_DIA	455.018,8	4.477.164,3	≈564,7	61,2	59,3	1,3	1,9	> 1,5
P4_DIA	455.010,4	4.477.103,0	≈564,7	43,4	60,7	12,2	17,3	> 1,5

VALIDACIÓN DEL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) CON LAS MEDIDAS REALIZADAS “IN SITU” A 1,5 SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	L _{Aeq, 15 min}	Desviación Estándar	Desviación de niveles en valor absoluto	Validación Modelo-Medidas
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (Día) dBA	Medidas (Día) dBA			
P5_DIA	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	50,5	56,1	4,0	5,6	> 1,5
P6_DIA	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	64,3	61,6	1,9	2,7	> 1,5
P7_DIA	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	65,1	64,1	0,7	1,0	< 1,5

Tabla. XLVI. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo día. Ajuste de velocidades.

Se vuelve a calcular la desviación de niveles para los siete puntos estratégicos de muestreo, obteniendo los siguientes resultados:

En el punto P1, el nivel de presión sonora calculado es inferior al medido. La desviación entre ambos niveles es inferior a 1,5 dB, por lo que **la validación** del modelo con la medida **es aceptable**. Se consigue obtener el mayor efecto al ajuste del modelo que en el resto de puntos.

En el punto P2, la desviación de niveles modelo-medidas es inferior a 1,5 dB. Se considera que **la validación** del modelo con la medida **es aceptable**.

En el punto P3, el nivel de presión sonora calculado es ligeramente superior al medido, presentando una desviación de nivel de 1,9 dB en valor absoluto. El ajuste del modelo con la modificación de la velocidad de los trenes, mejora la validación del modelo, pero al ser la desviación superior a 1,5 dB se considera no aceptable.

En los puntos P4 y P5, los niveles de presión sonora calculados por el modelo son muy bajos en comparación con los medidos. La desviación estándar entre ambos niveles es muy alta, y la validación se considera no aceptable.

En los puntos P6 y P7, los niveles de presión sonora calculados son superiores a los niveles medidos (con desviaciones de nivel inferiores a 3 dB). La disminución de velocidades en vehículos ligeros y pesados consigue tener efecto en la validación del mapa; en el punto 6 se reduce la desviación de niveles respecto al caso anterior, sin embargo al ser la diferencia mayor a 1,5 dB la validación del modelo con la medida no

es aceptable. **En el punto 7** el ajuste consigue mayor efecto en la validación, obteniendo una desviación de niveles inferior a 1,5 dB, considerándose **la validación del modelo aceptable**.

5.1.2. Ajuste del modelo: modificación del aforo de la Avenida San Pablo

Se considera como ajuste del modelo:

- La modificación del aforo en la Avenida San Pablo, tanto para vehículos ligeros como pesados. Dicha modificación se implanta en el modelo, cambiando el índice medio horario tanto para vehículos ligeros como pesados (en base a los conteos realizados en ambas campañas de medidas “in situ”), de tal forma que los datos modificados quedarían de la siguiente forma:

2013		Total	Día	Tarde
Avenida San Pablo	IMH Ligeros	1.146	932	208
	IMH Pesados	76	68	8
	Total	1.222	1.000	216

Tabla. XLVII. Aforos introducidos en el modelo para la Avenida san Pablo.
Ajuste del aforo.

Se comparan los niveles de presión sonora calculados con los niveles de presión sonora medidos:

VALIDACIÓN DEL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) CON LAS MEDIDAS REALIZADAS “IN SITU” A 1,5 SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	L _{Aeq} , 15 min	Desviación Estándar	Desviación de niveles en valor absoluto	Validación Modelo-Medidas
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (Día) dBA	Medidas (Día) dBA			
P1_DIA	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	59,1	59,2	0,0	0,1	< 1,5
P2_DIA	455.040,7	4.477.109,3	≈564,7	60,5	61,1	0,4	0,6	< 1,5
P3_DIA	455.018,8	4.477.164,3	≈564,7	61,7	59,3	1,7	2,4	> 1,5
P4_DIA	455.010,4	4.477.103,0	≈564,7	43,9	60,7	11,9	16,8	> 1,5
P5_DIA	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	50,0	56,1	4,3	6,1	> 1,5
P6_DIA	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	62,0	61,6	0,3	0,4	< 1,5
P7_DIA	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	63,1	64,1	0,7	1,0	< 1,5

Tabla. XLVIII. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo día. Ajuste del aforo.

Una vez realizado el ajuste del modelo, se calcula de nuevo la desviación de niveles para los siete puntos estratégicos de muestreo, obteniendo los siguientes resultados:

En el punto P1, el nivel de presión sonora calculado es prácticamente igual al medido. La desviación entre ambos niveles es de 0,1 dB (menor de 1,5 dB), por lo que en este punto **la validación** del modelo con la medida **es aceptable**.

En el punto P2, la desviación entre los niveles que proporcionan el modelo y las medidas realizadas es de 0,6 dB (inferior a 1,5 dB). Se considera que **la validación** del modelo con la medida **es aceptable**.

En el punto P3, el nivel de presión sonora calculado es ligeramente superior al medido (en 2,4 dB). El ajuste del modelo con la modificación del aforo en la Avenida San Pablo no produce ningún efecto, ya que en este punto la influencia de dicha Avenida es muy baja (al interponerse varias líneas de edificios entre la fuente y el

punto de muestreo). Al ser la desviación entre el modelo y la medida superior a 1,5 dB, se considera no aceptable.

En los puntos P4 y P5, los niveles de presión sonora calculados por el modelo son muy bajos en comparación con los medidos. La desviación estándar en ambos puntos, y entre ambos niveles es muy alta, por lo que no es aceptable validar el modelo con estas dos medidas.

En el punto P6, el nivel de presión sonora calculado es ligeramente superior al nivel medido (con desviación de niveles inferior a 1,5 dB). La modificación del aforo en la avenida, tanto para vehículos ligeros como pesados, logra tener efecto en la validación del mapa. **En el punto 6** se reduce la desviación de niveles considerablemente respecto al caso anterior, consiguiendo una diferencia de niveles de 0,4 dB, por lo que **la validación del modelo** con la medida **es aceptable**. **En el punto 7** el ajuste del aforo disminuye el nivel de presión sonora en el modelo, sin embargo la desviación entre el nivel del modelo y el nivel medido se mantiene igual que en el caso anterior (1 dB), por lo que **la validación** del modelo con la medida **es aceptable**.

Como conclusión al proceso de validación del modelo con la campaña de medidas realizada “in situ”, a 1,5 metros, y en periodo día, destacar los siguientes aspectos:

- En los puntos estratégicos de muestreo situados en el interior de las edificaciones objeto de estudio, la desviación estándar entre los niveles calculados por el modelo y los niveles medidos es muy alta. Se obtienen desviaciones de niveles muy elevadas debido a la posible formación de sombras sonoras por los edificios situados delante del punto de evaluación, y los ajustes aplicados al modelo no surten efecto alguno en la validación.
- En el punto P3, de evaluación principalmente, de los niveles de presión sonora emitidos por el tráfico ferroviario, la desviación entre el nivel que calcula el modelo y el nivel medido es superior a 1,5 dB, pero en un rango muy bajo comprendido entre 0,4 y 0,9 dB. En el modelo se ha introducido el dato de velocidad de los trenes en base a la señalización existente en el tramo de entrada a la estación, pero es complejo definir exactamente la velocidad de los mismos a su paso por el punto de

muestreo, motivo por el cual puede producirse una mayor o menor desviación con las medidas realizadas “in situ”.

5.1.3. Resultados de la validación en periodo tarde

En este punto se comparan los niveles de presión sonora calculados con los niveles de presión sonora medidos en periodo tarde:

VALIDACIÓN DEL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) CON LAS MEDIDAS REALIZADAS “IN SITU” A 1,5 SOBRE EL NIVEL DEL SUELO								
Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Le	L _{Aeq, 15 min}	Desviación Estándar	Desviación de niveles en valor absoluto	Validación Modelo-Medidas
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (Tarde) dBA	Medidas (Tarde) dBA			
P1_TARDE	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	58,6	57,2	1,0	1,4	< 1,5
P5_TARDE	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	50,0	56,9	4,9	6,9	> 1,5
P6_TARDE	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	59,8	58,7	0,8	1,1	< 1,5
P7_TARDE	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	61,3	60,8	0,4	0,5	< 1,5

Tabla. XLIX. Validación del modelo (sin ruido de aviones) con las medidas realizadas a 1,5 m, en los 7 puntos estratégicos de ruido. Periodo tarde.

De igual forma que en el periodo día, la conclusión al proceso de validación del modelo con la campaña de medidas realizada “in situ”, a 1,5 metros, y en periodo tarde, es que en el punto de evaluación situado en el interior de las edificaciones (punto P5), la desviación estándar entre el nivel calculado y el nivel medido es muy alta, debido a la sombra acústica producida por los edificios situados delante del punto de muestreo.

5.2. Cálculo del modelo en Plano H=4 m. Periodo día.

Con los niveles proporcionados por el modelo, y considerados como aceptables en el proceso de validación del plano situado a 1,5 metros sobre el nivel del suelo, se realiza el cálculo a una altura de 4 metros con los ajustes aplicados:

COMPARACIÓN DE LOS NIVELES PROPORCIONADOS POR EL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) EN LOS PLANOS SITUADOS A 1,5 Y 4 METROS SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	NIVEL Ld	ALTURA DEL PLANO (m)	DIFERENCIA DE NIVELES (dBA) (4 M – 1,5 M)
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (4 M) dBA	Modelo (1,5 M) dBA		
P1_DIA	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	58,8	59,1	4	-0,3
P2_DIA	455.040,7	4.477.109,3	≈564,7	60,4	60,5	4	-0,1
P3_DIA	455.018,8	4.477.164,3	≈564,7	61,3	61,7	4	-0,4
P4_DIA	455.010,4	4.477.103,0	≈564,7	44,3	43,9	4	0,4
P5_DIA	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	49,8	50,0	4	-0,2
P6_DIA	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	63,5	62,0	4	1,5
P7_DIA	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	64,5	63,1	4	1,4

Tabla. L. Comparación de los niveles proporcionados por el modelo (sin ruido de aviones) entre los planos situados a 4 m y 1,5 m. Periodo día.

En la tabla L se observa como los niveles calculados a 1,5 metros de altura son aproximadamente iguales a los existentes a 4 metros de altura, salvo en los puntos P6 y P7 (situados en la Avenida San Pablo), donde los niveles de presión sonora a 4 m son superiores en 1,5 dB.

Esta diferencia puede ser debida al efecto de absorción del suelo a 1,5 metros de altura, aunque en la zona de estudio la superficie del terreno existente entre las fuentes sonoras y los puntos estratégicos de muestreo se considera “dura”.

5.2.1. Cálculo en periodo tarde

A continuación se realiza el cálculo a una altura de 4 metros para el periodo tarde con los ajustes aplicados:

**COMPARACIÓN DE LOS NIVELES PROPORCIONADOS POR EL MODELO (SIN RUIDO DE AVIONES) EN
LOS PLANOS SITUADOS A 1,5 Y 4 METROS SOBRE EL NIVEL DEL SUELO**

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Le	NIVEL Le	ALTURA DEL PLANO (m)	DIFERENCIA DE NIVELES (dBA) (4 M – 1,5 M)
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo (4 M) dBA	Modelo (1,5 M) dBA		
P1_TARDE	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	59,4	58,6	4	0,7
P5_TARDE	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	50,4	50,0	4	0,3
P6_TARDE	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	63,5	59,8	4	3,7
P7_TARDE	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	64,5	61,3	4	3,2

Tabla. LI. Comparación de los niveles proporcionados por el modelo (sin ruido de aviones) entre los planos situados a 4 m y 1,5 m. Periodo tarde.

Se observa como los niveles calculados a 1,5 metros de altura son aproximadamente iguales a los existentes a 4 metros de altura, salvo en los puntos P6 y P7 (situados en la Avenida San Pablo), donde los niveles de presión sonora a 4 m son muy superiores a 1,5 dB.

5.3. Aportación del ruido de aviones al modelo aceptado

Previo al cálculo de la aportación del ruido de aviones al modelo validado a 1,5 metros de altura, se muestran los niveles promedios globales obtenidos en la campaña de medidas “in situ”. En la tabla LII se pueden observar los niveles medidos para el periodo día y tarde, con todas las fuentes operando en la zona (ruido total) y con todas las fuentes operando salvo el ruido de aviones (niveles que proporciona el modelo de predicción IMMI):

NIVELES DE PRESIÓN SONORA PROMEDIO L_{Pm}									
Fuente operando:	Índice	P1 DÍA	P2 DÍA	P3 DÍA	P4 DÍA	P5 DÍA	P6 DÍA	P7 DÍA	L_{Pm}
Todas	$L_{Aeq,15m}$	67,2	69,8	66,2	66,5	61,8	65,8	67,3	66,9
Todas menos Aviones	$L_{Aeq,15m}$	59,2	61,1	59,3	60,7	56,1	61,6	64,1	60,9
Fuente operando:	Índice	P1 TARDE	P2 TARDE	P3 TARDE	P4 TARDE	P5 TARDE	P6 TARDE	P7 TARDE	L_{Pm}
Todas	$L_{Aeq,15m}$	63,8	-	-	-	63,5	62,7	62,3	63,1
Todas menos Aviones	$L_{Aeq,15m}$	57,2	-	-	-	56,9	58,7	60,8	58,7

Tabla. LII. Niveles promedios globales obtenidos con medidas “in situ” . Periodo día y tarde.

Para el periodo diurno, y en el día en que se realizaron las medidas, se registra una diferencia entre el nivel de presión sonora promedio (con todas las fuentes operando) y el nivel de presión sonora promedio (con todas las fuentes operando salvo el sobrevuelo de aviones por la zona), de **6 dBA**.

En el periodo tarde, la diferencia registrada es de **4,4 dBA**.

Para calcular la aportación del ruido debido al tráfico de aviones por la zona al modelo validado con las medidas “in situ”, y con objeto de representar en plano las isófonas definitivas sobre la zona objeto de estudio, se realizan los siguientes cálculos para ambos periodos (día y tarde):

5.3.1. Cálculo periodo día

Según el cálculo teórico realizado en el punto 4.4, el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A obtenido durante el periodo día, con toda la información recopilada en ambas campañas de medidas, es de **68 dBA (Cálculo A)**.

Según la información proporcionada por AENA (Huella acústica del aeropuerto de Barajas), la isófona que pasa por la zona de estudio es de **67 dBA (Cálculo B)**.

La diferencia con el nivel de ruido total medido en la zona es de:

- En el **Cálculo A**: $68 \text{ dBA} - 66,9 \text{ dBA} = 1,1 \text{ dBA}$
- En el **Cálculo B**: $67 \text{ dBA} - 66,9 \text{ dBA} = 0,1 \text{ dBA}$

Y las diferencias de dichos niveles con el nivel de presión sonora promedio cuando todas las fuentes están operando salvo el sobrevuelo de aviones por la zona serían:

- En el **Cálculo A**: $68 \text{ dBA} - 60,9 \text{ dBA} = 7,1 \text{ dBA}$
- En el **Cálculo B**: $67 \text{ dBA} - 60,9 \text{ dBA} = 6,1 \text{ dBA}$

Si con el software de predicción acústica hacemos una aportación de los niveles anteriores al modelo validado, se obtienen los siguientes resultados:

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	NIVEL APORTADO	NIVEL APORTADO	NIVEL MEDIDO DÍA LAeq,15m
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo Validado (Día) dBA	CÁLCULO A: (Día) dBA	CÁLCULO B: (Día) dBA	TODAS LAS FUENTES OPERANDO dBA
P1_DIA	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	59,1	66,2	65,2	67,2

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	NIVEL APORTADO	NIVEL APORTADO	NIVEL MEDIDO DÍA LAeq,15m
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo Validado (Día) dBA	CÁLCULO A: (Día) dBA	CÁLCULO B: (Día) dBA	TODAS LAS FUENTES OPERANDO dBA
P2_DIA	455.040,7	4.477.109,3	≈564,7	60,5	67,6	66,6	69,8
P3_DIA	455.018,8	4.477.164,3	≈564,7	61,7	68,8	67,8	66,2
P4_DIA	455.010,4	4.477.103,0	≈564,7	43,9	51,0	50,0	66,5
P5_DIA	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	50,0	57,1	56,1	61,8
P6_DIA	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	62,0	69,1	68,1	65,8
P7_DIA	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	63,1	70,2	69,2	67,3
L _{Pm}	-	-	-	60,1	67,2	66,2	66,9

Tabla. LIII. Aportación de nivel al modelo validado por ruido de aviones. Periodo día.

El **cálculo B** (en verde), con una diferencia de 0,7 dBA respecto al promedio de los niveles medidos con todas las fuentes operando, **valida mejor el modelo** con las medidas realizadas en los puntos estratégicos (P3, P6 y P7), de control de los niveles de inmisión de la Avenida San Pablo y de la vía del tren.

El plano de representación de las isófonas para el ruido total en la zona se corresponde con los niveles de la columna en verde.

5.3.2. Cálculo periodo tarde

Según el cálculo teórico realizado en el punto 4.4, el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A obtenido durante el periodo tarde, con toda la información recopilada en ambas campañas de medidas, es de **67,8 dBA (Cálculo A)**.

Según la información proporcionada por AENA (Huella acústica del aeropuerto de Barajas), la isófona que pasa por la zona de estudio es de **67 dBA (Cálculo B)**.

La diferencia con el nivel de ruido total medido en la zona es de:

- En el **Cálculo A:** $67,8 \text{ dBA} - 63,1 \text{ dBA} = 4,7 \text{ dBA}$
- En el **Cálculo B:** $67 \text{ dBA} - 63,1 \text{ dBA} = 3,9 \text{ dBA}$

Y las diferencias de dichos niveles con el nivel de presión sonora promedio cuando todas las fuentes están operando salvo el sobrevuelo de aviones por la zona serían:

- En el **Cálculo A:** $67,8 \text{ dBA} - 58,7 \text{ dBA} = 9,1 \text{ dBA}$
- En el **Cálculo B:** $67 \text{ dBA} - 58,7 \text{ dBA} = 8,3 \text{ dBA}$

Si con el software de predicción acústica hacemos una aportación de los niveles anteriores al modelo validado, se obtienen los siguientes resultados:

Punto medida	COORDENADAS DEL PUNTO DE MEDIDA			NIVEL Ld	NIVEL APORTADO	NIVEL APORTADO	NIVEL MEDIDO TARDE LAeq,15m
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Modelo Validado (Tarde) dBA	CÁLCULO A: (Tarde) dBA	CÁLCULO B: (Tarde) dBA	TODAS LAS FUENTES OPERANDO dBA
P1_TARDE	455.056,2	4.477.042,1	≈564,7	58,6	67,7	66,9	63,8
P5_TARDE	455.025,8	4.477.036,2	≈564,7	50,0	59,1	58,3	63,5
P6_TARDE	454.998,5	4.476.980,9	≈564,7	59,8	68,9	68,1	62,7
P7_TARDE	454.950,3	4.477.183,4	≈564,7	61,3	70,4	69,6	62,3
L _{Pm}	-	-	-	58,9	68,1	67,2	63,1

Tabla. LIV. Aportación de nivel al modelo validado por ruido de aviones. Periodo tarde.

El cálculo B (en verde), con una diferencia de 4,1 dBA respecto al promedio de los niveles medidos con todas las fuentes operando, **valida mejor el modelo** con las medidas realizadas en los puntos estratégicos (P3, P6 y P7), de control de los niveles de inmisión de la Avenida San Pablo y de la vía del tren. Aun así, la desviación estándar media entre los niveles del mapa y los niveles medidos es muy alta (en torno a los 3,7 dBA), por lo que en periodo tarde la validación del modelo con la campaña de medidas realizada no se puede considerar aceptable.

El plano de representación de las isófonas para el ruido total en la zona se corresponde con los niveles de la columna en verde.

6

Fase 4:

Estimación de la
incertidumbre en
la medición de
ruido ambiental

6.1. Conceptos básicos

El objetivo de una medición es determinar el valor del **mensurando**; esto es, el valor de la magnitud particular bajo medición.

En general, el **resultado** de una medición es sólo una **aproximación** o estimación del valor del mensurando, y únicamente se halla completo cuando está acompañado de una declaración acerca de la **incertidumbre** de dicha estimación.

La incertidumbre de medida es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pudieran ser atribuidos razonablemente al mensurando. Es la duda que existe sobre el resultado de una medición, y nos habla de la calidad de la medida.

El mensurando se puede medir de diferentes formas, bien de forma directa (por ejemplo, cuando se usa un anemómetro para conocer la velocidad del viento) o de forma indirecta a partir de otras magnitudes de entrada que se relacionan con el mensurando a través de un modelo matemático o relación funcional (pondremos por ejemplo la medición de la potencia eléctrica disipada en una carga eléctrica a partir de mediciones de la tensión en bornes de la misma y la resistencia de dicha carga, utilizando el modelo matemático $\text{potencia eléctrica} = (\text{tensión en bornes})^2 / \text{resistencia}$).

Existe tan solo una magnitud global de salida que depende de cierta cantidad de magnitudes que se le asignen a la entrada, obteniendo como resultado de todas ellas esa magnitud de salida.

Hay magnitudes que pueden afectar al proceso de evaluación de la incertidumbre que no se conocen exactamente. Estas magnitudes se conocen como aleatorias y, tal como se acaba de explicar, tanto las magnitudes de salida y entrada también son aleatorias. Esto nos da pie a hablar del concepto error de medida.

El error de medida no es la incertidumbre de medida, sino la diferencia entre el valor que se ha medido y el verdadero. En él se pueden encontrar componentes aleatorias (no se pueden corregir, pero si se pueden reducir al aumentar el número de observaciones) y sistemáticas (algunas son conocidas y se pueden corregir).

La incertidumbre de medida está constituida por: errores aleatorios, errores sistemáticos no cuantificables y errores producidos en la aplicación de las correcciones de los errores sistemáticos conocidos.

El resultado de una medición incluye la mejor estimación del valor del mensurando y una estimación de la incertidumbre sobre ese valor, ya que la imperfección natural producida en la realización de mediciones hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud.

6.2. Fuentes comunes de incertidumbre

Las fuentes frecuentes de incertidumbre son:

- La instrumentación o equipos de medida utilizados.
- Cada uno de los elementos que forman parte de un dato a medir.
- El proceso de medida.
- Las incertidumbres “importadas”.
- La experiencia, la práctica, la habilidad del operador.
- La representatividad del muestreo.
- Los factores ambientales.
- Otras.

6.3. Procedimiento para estimar la incertidumbre de medida

La estimación del mensurando Y se puede estimar con las estimaciones de entrada de x_i como valores de las magnitudes de entrada X_i . Lo expresamos de la siguiente forma:

$$Y=f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

El procedimiento consiste en, una vez modelada la medida Y , estimar las siguientes incertidumbres:

- 1) Se estima la incertidumbre para cada magnitud de entrada:

u_i : incertidumbre típica

- 2) Se calcula la combinación de las incertidumbres de todas las magnitudes de entrada:

u_C : incertidumbre combinada

- 3) Aplicar un factor de cobertura que garantice un determinado nivel de confianza:

$U = k u_C$: incertidumbre expandida

6.4. Estimación de la incertidumbre

La estimación de la incertidumbre asociada a los resultados de ensayo, según establece la *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida* (GUM), consiste en el cálculo de la desviación típica de las magnitudes finales, empleando el procedimiento pertinente al método de obtención a partir de las mediciones iniciales.

Sin embargo, la norma ISO 1996-2:2007 prescribe las consideraciones que se han de tener para obtener la incertidumbre en cada una de las medidas teniendo en cuenta las posibles desviaciones ocasionadas por los equipos de medida, procedimiento de ensayos, condiciones meteorológicas, etc.

En la siguiente tabla se dan algunas indicaciones sobre cómo estimar la incertidumbre de medida. En ella, la incertidumbre se expresa con una cifra decimal como una incertidumbre expandida, con un factor de cobertura de 2, lo que supone un factor de probabilidad del 95%.

Tabla 1 – Resumen de la incertidumbre de medición para L_{Aeq}

Incertidumbre típica				Incertidumbre típica combinada	Incertidumbre de medición expandida
Debido a la instrumentación ^a	Debido a las condiciones de funcionamiento ^b	Debido a las condiciones meteorológicas y del terreno ^c	Debido al sonido residual ^d		
1,0	X	Y	Z	σ_t $\sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2,0 \sigma_t$
dB	dB	dB	dB	dB	dB

Las componentes de incertidumbre se pueden clasificar en dos tipos, en función del método para estimar su valor numérico:

- 1) **Tipo A:** Se evalúan a partir del análisis de series de observaciones (procedimientos estadísticos).
- 2) **Tipo B:** Se evalúan a partir de criterios no estadísticos.

- Certificados de calibración.
- Especificaciones de los equipos.
- Publicaciones.
- Experiencia.
- Sentido común.

Los dos tipos de evaluación se basan en distribuciones de probabilidad y las componentes resultantes se cuantifican mediante varianzas o desviaciones típicas.

Se denomina incertidumbre típica de una componente determinada a la desviación típica estimada de los valores de dicha componente.

A continuación se estudia la contribución de cada uno de los factores de la tabla anterior a la incertidumbre.

6.4.1. Incertidumbre debida a la instrumentación

Para la realización de las campañas de medidas del proyecto se utiliza un **sonómetro de tipo 1** Brüel & Kjaer, Modelo 2260.

La **norma ISO 1996-2:2007** estima en **1 dB** la desviación producida por el equipo de medida (para sonómetros de Tipo I según IEC 61672-1:2002).

Según **Imagine Project** la incertidumbre típica debida al sonómetro es de **0,5 dB**.

Y según la **norma ISO 9612** la incertidumbre típica debida a la instrumentación utilizada es de **0,7 dB**.

A continuación se calcula la incertidumbre asociada al uso del sonómetro mediante **cálculo riguroso**, a partir de los datos del certificado de calibración.

Cálculo correspondiente al *Grupo 1* de correcciones:

- δ_{AD} es la corrección asociada con el ajuste del sonómetro durante la calibración con un calibrador sonoro.
- δ_{CAL} es la corrección asociada con la calibración del calibrador sonoro.
- δ_{FR} es la corrección asociada con la ponderación frecuencial.

- δ_{LIN} es la corrección asociada con la linealidad del sonómetro en el rango de referencia.
- δ_{DL} es la corrección asociada con la linealidad en otros rangos.
- δ_{RMS} es la corrección asociada con las características del detector.
- δ_{RES} es la corrección asociada con la resolución del indicador.
- δ_{TIME} es la corrección asociada con la ponderación temporal (fast o slow).

$$\delta_i(L)_{GRUPO1} = \delta_{AD} + \delta_{CAL} + \delta_{FR} + \delta_{LIN} + \delta_{DL} + \delta_{RMS} + \delta_{RES} + \delta_{TIME} \quad (12)$$

Corrección	Valor ± dB	Distribución	Divisor	Incert. Típica ± dB
δ_{AD}	0,05	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,03
δ_{CAL}	0,14	Normal	2	0,07
δ_{FR}	0,18	Normal	2	0,09
δ_{LIN}	0,14	Normal	2	0,07
δ_{DL}	0,14	Normal	2	0,07
δ_{RMS}	0,08	Normal	2	0,04
δ_{RES}	0,05	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,03
$\delta_{TIME-FAST}$	0,08	Normal	2	0,04
$\delta_{TIME-SLOW}$	0,08	Normal	2	0,04
TOTAL (FAST)				0,44
TOTAL (SLOW)				0,44

Tabla. LV. Incertidumbre debida a la instrumentación. Grupo 1.

Cálculo correspondiente al Grupo 2 de correcciones:

- δ_{DIR} es la corrección asociada con la directividad del micrófono.
- δ_{CASE} es la corrección asociada con la carcasa del sonómetro
- δ_{TEMP} es la corrección asociada con las variaciones de la temperatura ambiental
- δ_{PRES} es la corrección asociada con las variaciones de la presión ambiental

$$\delta_i(L)_{GRUPO2} = \delta_{DIR} + \delta_{CASE} + \delta_{TEMP} + \delta_{PRES} \quad (13)$$

Corrección	Valor \pm	Distribución	Divisor	Incert. típica \pm
δ_{DIR}	0,11	Triangular	$\sqrt{6}$	0,04
δ_{CASE}	0,013	Rectangular	$\sqrt{3}$	0,01
δ_{TEMP}	0,11	Triangular	$\sqrt{6}$	0,04
δ_{PRES}	0,05	Triangular	$\sqrt{6}$	0,02
TOTAL				0,11

Tabla. LVI. Incertidumbre debida a la instrumentación. Grupo 2.

La incertidumbre típica asociada a la instrumentación se calcula como suma de las incertidumbres de ambos grupos:

$$\delta_i(L) = 0,44 + 0,11 = 0,55$$

$$u_i(\delta_i(L)) = \pm 0,6$$

Finalmente se opta por este último valor expresado con una única cifra decimal, frente al valor que considera la norma ISO 1996-2:2007, como contribución de la instrumentación a la incertidumbre final de cada medida.

6.4.2. Incertidumbre debida a las condiciones de funcionamiento

Se especifican a continuación las consideraciones de mayor interés que se tienen en cuenta para estimar la incertidumbre debida a las condiciones de funcionamiento de las siguientes fuentes: ruido de tráfico rodado, ruido ferroviario y ruido de aeronaves.

Según la norma UNE-ISO 1996-2:2009 las condiciones de funcionamiento de la fuente deben ser estadísticamente representativas del entorno de ruido en estudio.

Dicha norma establece que la componente X de incertidumbre típica sea determinada al menos a partir de 3 mediciones en condiciones de repetibilidad y preferiblemente 5, utilizando el mismo procedimiento de medición, la misma instrumentación, el mismo técnico de muestreo, el mismo lugar, y una posición donde las variaciones en las condiciones meteorológicas ejerzan una influencia débil de los resultados.

Se realizan 4 medidas a corto plazo, con una duración de cinco minutos cada una, midiendo el nivel de presión sonora continuo equivalente cada 5 segundos en cada una de ellas. Cada una de las medidas presenta 60 valores del L_{Aeq} . Las 4 medidas se ejecutan en dos días diferentes (2 medidas en cada uno de los días), y dejando entre ellas un intervalo de separación de cinco minutos. Con las cuatro medidas se determina la repetibilidad de la desviación estándar.

Se describe para cada una de las fuentes de ruido mencionadas anteriormente el proceso de obtención de la incertidumbre típica:

Ruido de Tráfico rodado

Se considera una fuente que depende directamente de las condiciones del tráfico existente en la zona (tipo de vehículos, velocidades, número de carriles, etc).

El IMD de la avenida San Pablo es una fuente de incertidumbre, ya que produce un notable incremento de los niveles de presión acústica en la zona de estudio.

El índice de valoración que se tiene en cuenta para la evaluación de esta fuente es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$).

En las dos campañas de medidas realizadas “in situ” se describen las condiciones bajo las que se realizan los registros, y se reflejan en las hojas de campo. De la misma forma se anotan los datos relativos a la duración del ensayo, y se cuenta el número de vehículos (ligeros y pesados) que pasan durante el intervalo de medición.

La incertidumbre típica especificada por X_{TR} con subíndice “TR: Tráfico rodado” para diferenciar de las otras fuentes, se calcula por medio de la ecuación:

$$X_{TR} \cong \frac{10}{\sqrt{n}}$$

donde n es el número total de vehículos que han pasado.

Como ejemplo se adjunta tabla de resultados obtenida para el periodo día, en la que se calcula el promedio total de vehículos (ligeros, motos, y pesados) contados durante 20 minutos en cada uno de los siete puntos de medida durante el número de mediciones total (4 medidas).

PUNTO DE MEDIDA PERIODO DÍA	CONTEO TOTAL PROMEDIO
1	No se registra paso de vehículos
2	No se registra paso de vehículos
3	No se registra paso de vehículos
4	64
5	76
6	98
7	99

Tabla. LVII. Promedio de paso de vehículos. Periodo día.

Se adjunta tabla con el resultado correspondiente al cálculo de incertidumbre típica por tráfico rodado en cada punto:

PUNTO DE MEDIDA PERIODO DÍA	INCERTIDUMBRE TÍPICA $\pm X_{TR}$ (dB)
4	1,2
5	1,1
6	1,0
7	1,0

Tabla. LVIII. Incertidumbre típica por tráfico rodado. Periodo día.

Si se calcula la media de los cuatro conteos totales promedios correspondientes a los cuatro puntos (84 pasos), se tiene que el valor de incertidumbre típica asociada al tráfico rodado en la Avenida San Pablo es de:

$$X_{TR} = \pm 1,1 \text{ dB}$$

Ruido de Trenes

En el punto 3.4.4. “Histograma de frecuencias para el paso de trenes” del proyecto, se confirma la presencia de una clase o categoría de tren (tipo Cercanías) que pasa por la zona de estudio, con las frecuencias de paso que marcan los histogramas.

El índice de valoración que se tiene en cuenta para la evaluación de esta fuente es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$).

Según la norma UNE-ISO 1996-2:2009, una determinada tipología de tren debe ser evaluada a partir de al menos 5 pasos.

En las dos campañas de medidas realizadas “in situ” se evalúan un total de ocho pasos de tren de cercanías. Las medidas se realizan en dos días diferentes. Los pasos de trenes más significativos se detectan en los puntos estratégicos de muestreo P3 y P7, que son los más cercanos a la fuente.

Se presentan los niveles de presión sonora continuos equivalentes (correspondientes a la medida de 5 segundos en el instante que la huella acústica del paso se encuentra en el máximo) registrados durante ambas campañas, ordenados de menor a mayor:

PUNTO DE MEDIDA	CAMPAÑA DE MEDIDA	$L_{Aeq,5s}$ (dB)
P1	Segunda	64,5
P7	Primera	64,8
P2	Primera	66,7
P7	Primera	66,8
P2	Primera	67,4
P3	Segunda	69,9
P3	Segunda	71,9
P3	Segunda	72,9

Tabla. LIX. Nivel de presión sonora. Paso de trenes por la zona.

Según **Imagine Project** la incertidumbre típica especificada por X_{TF} con subíndice “TF: Tráfico ferroviario” considerando el mismo tipo de tren (cercanías), se calcula por medio de la ecuación:

$$X_{TF} \cong \frac{C}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

donde $C=5$ y n es el número total de pasos de tren en cada punto de medida. Se obtienen los siguientes valores de incertidumbre típica X_{TF} :

PUNTO DE MEDIDA	NÚMERO DE PASOS	$\pm X_{TF}$ (dB)
-----------------	-----------------	-------------------

PUNTO DE MEDIDA	NÚMERO DE PASOS	$\pm X_{TF}$ (dB)
P1	1	5,0
P7	2	3,5
P2	2	3,5
P3	3	2,9

Tabla. LX. Incertidumbre típica por tráfico de cercanías en la zona

Si se calcula la media de los cuatro conteos totales promedios correspondientes a los cuatro puntos (2 pasos de tren), se obtiene que el valor de incertidumbre típica asociada a los pasos de trenes en la zona es igual:

$$X_{TF} = \pm 3,5 \text{ dB}$$

Este valor de incertidumbre se considera muy alto. Se considera como mejor estimación disponible de la esperanza matemática μ_q de una magnitud que varía al azar (variable aleatoria), de la que se han obtenido n observaciones independientes q_k en las mismas condiciones de medida, la media aritmética de las n observaciones.

Normalmente se utiliza la **desviación típica de la media** como estimador de la incertidumbre típica $u(x_i)$. Se adjunta el cálculo de incertidumbre típica asociada al paso de trenes según la ecuación:

$$X_{TF} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{5,9}{\sqrt{8}} = 2,1 \quad (15)$$

donde:

σ : es la desviación típica entre el máximo (72,9 dB) y el mínimo (64,5 dB) nivel de presión sonora continuo equivalente ($L_{Aeq,5s}$) del conjunto de los 8 pasos registrados.

n : es el número total de pasos

Se obtiene que el valor de incertidumbre típica asociada a los pasos de trenes en la zona es igual:

$$X_{TF} = \pm 2,1 \text{ dB}$$

Tráfico de Aviones

En los puntos 3.4.1. y 3.4.2 “Histograma de frecuencias para el paso de aviones” del proyecto, se confirma la presencia de **tres clases o categorías de avión** que sobrevuelan la zona de estudio, con las frecuencias de paso que marcan los histogramas.

El índice de valoración que se tiene en cuenta para la evaluación de esta fuente es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$).

Según la norma UNE-ISO 1996-2:2009, la caracterización de un tipo de aeronave implica el registro de al menos 5 pasos, pero el objetivo en el proyecto es caracterizar el tráfico aéreo que sobrevuela la zona residencial, y para ello se han analizado 45 pasos de aviones.

Con las 45 huellas acústicas se tiene suficiente información para conocer el nivel de presión sonora del tráfico aéreo en la zona residencial, utilizando las medidas de $L_{Aeq,5s}$ correspondiente al instante en que se registra un máximo en la huella. Los periodos de medición contienen los tres tipos de aviones con las emisiones más altas en función de la altura de vuelo sobre las edificaciones que se están estudiando, y que utilizan las pistas del aeropuerto más cercano, el aeropuerto de Barajas.

Se presentan a continuación los niveles de presión sonora continuos equivalentes registrados durante ambas campañas, en los momentos que se registran un máximo en la huella, ordenados de menor a mayor, y por categorías de aviones (cada una con un color diferente):

PUNTO DE MEDIDA	CAMPAÑA DE MEDIDA	$L_{Aeq,5s}$ (dB)
P5	Primera	74,0
P3	Primera	74,0

PUNTO DE MEDIDA	CAMPAÑA DE MEDIDA	L _{Aeq,5s} (dB)
P1	Segunda	74,0
P1	Segunda	74,2
P6	Segunda	75,2
P6	Primera	75,3
P7	Primera	76,3
P3	Primera	76,4
P6	Primera	76,7
P6	Segunda	76,7
P6	Primera	77,0
P2	Primera	77,2
P3	Primera	77,3
P6	Primera	77,9
P5	Segunda	78,3
P2	Primera	78,6
P3	Primera	78,8
P6	Primera	79,0
P1	Segunda	79,0
P5	Primera	79,4
P7	Segunda	79,6

PUNTO DE MEDIDA	CAMPAÑA DE MEDIDA	L _{Aeq,5s} (dB)
P7	Primera	79,7
P7	Primera	79,9
P5	Segunda	79,9
P1	Primera	80,0
P3	Segunda	80,0
P4	Primera	80,4
P2	Primera	80,4
P2	Primera	80,5
P4	Primera	80,6
P1	Primera	80,7
P1	Segunda	80,7
P4	Segunda	80,8
P5	Segunda	80,8
P7	Segunda	80,8
P7	Segunda	80,8
P1	Segunda	81,1
P1	Primera	81,3
P1	Primera	81,6
P4	Primera	81,7

PUNTO DE MEDIDA	CAMPAÑA DE MEDIDA	$L_{Aeq,5s}$ (dB)
P7	Segunda	82,1
P4	Segunda	82,5
P3	Primera	84,9
P4	Segunda	85,3
P2	Primera	88,5

Tabla. LXI. Nivel de presión sonora.Paso de aviones por la zona.

Se adjunta el cálculo de incertidumbre típica asociada al paso de aviones por la zona objeto de estudio, especificada por X_{TA} con subíndice “TA: Tráfico de aviones” según la ecuación:

$$X_{TA} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{10,3}{\sqrt{45}} = 1,5$$

donde:

σ : es la desviación típica entre el máximo (88,5 dB) y el mínimo (74,0 dB) nivel de presión sonora continuo equivalente ($L_{Aeq,5s}$) del conjunto de los 45 pasos registrados.

n : es el número total de pasos de aviones

Se obtiene que el valor de incertidumbre típica asociada al paso de aviones por la zona es igual:

$$X_{TA} = \pm 1,5 \text{ dB}$$

6.4.3. Incertidumbre debida a las condiciones meteorológicas y del terreno

Para el cálculo de esta incertidumbre se analiza de forma exhaustiva la influencia de las condiciones meteorológicas según la norma UNE-EN ISO 1996-2:2009.

Las medidas realizadas en las dos campañas comprenden intervalos de tiempo de corto plazo (medidas de 15 minutos y medidas de 5 minutos), por lo que no se considera importante la repetibilidad de los parámetros climatológicos en cuanto a la evaluación de los niveles sonoros.

En las campañas de medidas realizadas “in situ” se han anotado en las hojas de campo las condiciones bajo las cuales se han llevado a cabo, midiendo temperatura (°C), presión (mBar), humedad relativa (%), y velocidad del viento (m/s).

Se han realizado todas las medidas bajo condiciones atmosféricas reproducibles asegurando condiciones de propagación sonora **bastante estables**, con el fin de comparar los resultados.

La incertidumbre relacionada con las condiciones meteorológicas se puede considerar muy baja, comprobando su escasa influencia con la ecuación (7):

$$\frac{h_s + h_r}{r} \geq 0.1$$

donde:

h_s : es la altura de la fuente;

h_r : es la altura del receptor;

r : es la distancia entre la fuente y el receptor.

Se han realizado todas las medidas con trípode apoyado sobre suelo duro, y en ambiente exterior.

Además se han efectuado siempre con la bola antiviento situada en el micrófono.

El radio de curvatura de la trayectoria sonora R , que determina las condiciones de propagación en los días que se realizaron las medidas, se puede considerar con valor $R=\infty$, correspondiente a una propagación en línea recta desde la fuente al receptor (“sin viento” y atmósfera homogénea).

Según las directrices del Anexo A.4. de la norma, se obtiene el valor de la contribución a la incertidumbre de las medidas por las condiciones climatológicas y del terreno para una propagación sonora favorable. Se han tenido en cuenta los siguientes argumentos:

- Las alturas de las fuentes (a menos de 1,5 metros sobre el suelo) y de los receptores (a 1,5 metros sobre el suelo), clasifican esta situación como “baja”.
- La superficie del terreno existente entre las fuentes sonoras y los puntos estratégicos de muestreo, se considera “dura”.

La desviación típica inducida por el clima se puede omitir siempre y cuando no se formen sombras sonoras, por lo que la incertidumbre típica asociada a las condiciones climatológicas y del terreno (componente Y), es según la norma de aproximadamente **0,5 dB** para posiciones de medida hasta 25 metros, considerando los argumentos anteriores.

$$Y = \pm 0,5$$

6.4.4. Incertidumbre debida al sonido residual

Para obtener el valor de incertidumbre debida al sonido residual se calcula la diferencia entre los niveles totales medidos (con todas las fuentes de ruido operando) y los niveles de ruido residual (con todas las fuentes de ruido operando salvo el ruido procedente del paso de trenes de cercanías y el ruido procedente del tráfico aéreo por la zona).

El procedimiento utilizado para el cálculo de la componente Z de incertidumbre típica debida al sonido residual es el siguiente:

- Si la diferencia entre el nivel de presión sonora medido (fuente + residual) y el nivel de presión sonora residual es mayor de 10 dB, la contribución a la incertidumbre final de la metodología de realización del

ensayo proveniente del factor “ruido residual” es tan baja que se puede considerar despreciable. En estos casos no se realizan correcciones, y el nivel de presión sonora medido es válido para las fuentes sometidas a ensayo (se presentan en color verde en las tablas).

- Si la diferencia entre el nivel de presión sonora medido (fuente + residual) y el nivel de presión sonora residual es menor de 3 dB, el nivel de presión sonora medido no se considera válido (no se puede corregir), y la contribución a la incertidumbre es tan alta que no se puede dar un resultado fiable. Como los datos se registran (se presentan en color naranja), se indica en el documento, así como en la tabla de resultados, que el valor de presión sonora registrado no se puede corregir para corregir el efecto del ruido residual.
- Si la diferencia entre el nivel de presión sonora medido (fuente + residual) y el nivel de presión sonora residual está comprendido dentro del rango de 3 dB a 10 dB (se presenta en color amarillo en las tablas), se corrige de acuerdo con la ecuación:

$$L_{CORR} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{L_{medido}}{10}} - 10^{\frac{L_{residual}}{10}} \right) \quad (16)$$

Siendo:

L_{CORR} : Nivel de presión sonora corregido

L_{MEDIDO} : Nivel de presión sonora medido

$L_{RESIDUAL}$: Nivel de presión sonora residual

A continuación se presenta para cada punto de medida en periodo día, y en función del número de medidas realizadas en cada punto, el cálculo de la incertidumbre típica debida al ruido residual:

P1 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA Nº	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
1	69,4	61,3	8,1	SI	68,7
2	68,1	54,3	13,7	NO	68,1
3	67,0	55,8	11,2	NO	67,0
4	68,4	59,0	9,5	SI	67,9
$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	0,5	1,6	-	-	0,3
Incertidumbre típica Z _{Lcorr} =± 0,3					
Incertidumbre típica Z _{Residual} =± 1,6					

Tabla. LXII. Incertidumbre típica debida al ruido residual Z_{Residual} . Punto P1 DÍA.

P2 DÍA					
n= 3	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA Nº	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
1	68,6	59,4	9,2	SI	68,1
2	72,5	59,2	13,2	NO	72,5
3	60,4	59,5	0,9 (*)	SI (*)	53,0 (*)

P2 DÍA					
n= 3	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA Nº	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
4	-	-	-	-	-
$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	3,6	0,1	-	-	5,9
Incertidumbre típica Z _{Lcorr} =± 5,9					
Incertidumbre típica Z _{Residual} =± 0,1					

Tabla. LXIII. Incertidumbre típica debida al ruido residual Z_{Residual} . Punto P2 DÍA.

Nota (*): El nivel de presión sonora medido correspondiente a la medida 3 no es un resultado fiable. Su contribución a la incertidumbre es muy alto. Se corrige únicamente para conocer el valor de σ .

P3 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA Nº	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
1	68,7	56,7	12,0	NO	68,7
2	64,9	55,9	9,0	SI	64,3
3	63,5	55,2	8,3	SI	62,9
4	61,4	53,8	7,6	SI	60,5

P3 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA Nº	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	1,5	0,6	-	-	1,7
Incertidumbre típica Z _{Lcorr} =± 1,7					
Incertidumbre típica Z _{Residual} =± 0,6					

Tabla. LXIV. Incertidumbre típica debida al ruido residual Z_{Residual}. Punto P3 DÍA.

P4 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA Nº	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
1	66,3	59,9	6,4	SI	65,2
2	60,5	60,5	0,0 (*)	NO	-
3	70,1	57,2	12,9	NO	70,1
4	69,7	60,4	9,3	SI	69,1
$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	2,2	0,8	-	-	1,5
Incertidumbre típica Z _{Lcorr} =± 1,5					
Incertidumbre típica Z _{Residual} =± 0,8					

Tabla. LXV. Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P4 DÍA.

Nota (*): El nivel de presión sonora medido correspondiente a la medida 2 no es un resultado fiable. Su contribución a la incertidumbre es muy alto. Se descarta en el cálculo de Z_{Lcorr} .

P5 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA N°	$L_{Aeq,5min}$ (dBA)	$L_{Aeq,5min}$ (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L_{CORR} (dBA)
1	60,0	55,0	5,0	SI	58,4
2	65,1	55,3	9,8	SI	64,6
3	66,6	57,4	9,1	SI	66,0
4	66,1	58,1	8,0	SI	65,3
$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	1,5	0,8	-	-	1,8
Incertidumbre típica $Z_{Lcorr}=\pm 1,8$					
Incertidumbre típica $Z_{Residual}=\pm 0,8$					

Tabla. LXVI. Incertidumbre típica debida al ruido residual $Z_{Residual}$. Punto P5 DÍA.

P6 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA N°	$L_{Aeq,5min}$ (dBA)	$L_{Aeq,5min}$ (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L_{CORR} (dBA)

P6 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA N°	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
1	64,8	62,1	2,7 (*)	SI (*)	61,5 (*)
2	66,0	60,6	5,4	SI	64,5
3	65,9	60,2	5,7	SI	64,6
4	59,8	59,8	0,0 (*)	NO	-
$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	1,5	0,5	-	-	1,0
Incertidumbre típica Z _{Lcorr} =± 1,0					
Incertidumbre típica Z _{Residual} =± 0,5					

Tabla. LXVII. Incertidumbre típica debida al ruido residual Z_{Residual}. Punto P6 DÍA.

Nota (*): El nivel de presión sonora medido correspondiente a la medida 1 no es un resultado fiable. Su contribución a la incertidumbre es muy alto. Se corrige únicamente para conocer el valor de σ .

Nota (*): El nivel de presión sonora medido correspondiente a la medida 4 no es un resultado fiable. Su contribución a la incertidumbre es muy alto. Se descarta en el cálculo de Z_{Lcorr}.

P7 DÍA					
n= 4	NIVEL DE PRESIÓN SONORA MEDIDO (A)	NIVEL DE PRESIÓN SONORA RESIDUAL (B)	CORRECCIONES		NIVEL DE PRESIÓN SONORA CORREGIDO (C)
MEDIDA N°	L _{Aeq,5min} (dBA)	L _{Aeq,5min} (dBA)	DIFERENCIA (A-B)	Se corrige?	L _{CORR} (dBA)
1	63,6	63,6	0,0	NO	-
2	67,5	64,5	3,1	SI	64,5
3	68,7	64,5	4,2	SI	66,7
4	70,1	65,2	4,9	SI	68,4
$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	1,4	0,3	-	-	1,1
Incertidumbre típica Z _{Lcorr} =± 1,1					
Incertidumbre típica Z _{Residual} =± 0,3					

Tabla. LXVIII. Incertidumbre típica debida al ruido residual Z_{Residual}. Punto P7 DÍA.

Nota (*): El nivel de presión sonora medido correspondiente a la medida 1 no es un resultado fiable. Su contribución a la incertidumbre es muy alto. Se descarta en el cálculo de Z_{Lcorr}.

Para las medidas realizadas en periodo tarde, se realiza el cálculo de la incertidumbre combinada de la misma forma. El resultado se presenta en el siguiente apartado.

6.5. Cálculo de la incertidumbre de la medida

En la siguiente tabla se procede al cálculo de la incertidumbre de cada medida. En ella, la incertidumbre se expresa con una cifra decimal como una incertidumbre expandida, con un factor de cobertura de 2, lo que supone un factor de probabilidad del 95%.

PUNTO DE MEDIDA	INCERTIDUMBRE TÍPICA				INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EXPANDIDA
	Debido a la instrumentación I dB	Debido a las condiciones de funcionamiento X dB	Debido a las condiciones meteorológicas y del terreno Y dB	Debido al sonido residual Z dB	σ_t (dB) $\sqrt{I^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2 \cdot \sigma_0$ (dB)
P1 DIA	0,6	3,6	0,5	1,6	4,0	8,0
P2 DIA	0,6	3,6	0,5	0,1	3,7	7,4
P3 DIA	0,6	3,6	0,5	0,6	3,7	7,4
P4 DIA	0,6	2,6	0,5	0,8	2,8	5,6
P5 DIA	0,6	2,6	0,5	0,8	2,8	5,6
P6 DIA	0,6	2,6	0,5	0,5	2,8	5,6
P7 DIA	0,6	4,7	0,5	0,3	4,8	9,6
P1 TAR	0,6	3,6	0,5	1,5	4,0	8,0
P5 TAR	0,6	3,0	0,5	0,7	3,2	6,4
P6 TAR	0,6	3,0	0,5	0,9	3,2	6,4
P7 TAR	0,6	5,1	0,5	0,2	5,2	10,4

Tabla. LXIX. Cálculo de la incertidumbre en cada punto de muestreo a partir de las medidas realizadas en cada uno de ellos

Una vez calculada la incertidumbre en cada punto de muestreo, se presentan los niveles de ruido total en la zona de estudio con expresión de la misma:

NIVELES DE RUIDO TOTAL EN LOS PUNTOS ESTRATÉGICOS DE MUESTREO

PUNTO DE MEDIDA	$L_{Aeq,15m}$	PUNTO DE MEDIDA	$L_{Aeq,15m}$
P1_DIA	$68,3 \pm 8,0$	P1_TAR	$63,0 \pm 8,0$
P2_DIA	$69,4 \pm 7,4$	P2_TAR	-
P3_DIA	$65,5 \pm 7,4$	P3_TAR	-
P4_DIA	$67,9 \pm 5,6$	P4_TAR	-
P5_DIA	$65,0 \pm 5,6$	P5_TAR	$63,5 \pm 6,4$
P6_DIA	$64,7 \pm 5,6$	P6_TAR	$61,4 \pm 6,4$
P7_DIA	$68,1 \pm 9,6$	P7_TAR	$63,3 \pm 10,4$

Tabla. LXX. Niveles de ruido total en los puntos de muestreo, con expresión de su incertidumbre asociada. Periodo día y tarde.

7 Bibliografía

7.1. Referencias bibliográficas

- Real Decreto 1367/2007, de 19/10/2007, que desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1513/2005, de 16/12/2005, que desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental.
- Norma UNE-ISO 1996-1: Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.
- Norma UNE-ISO 1996-2: Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental.
- Método nacional de cálculo francés “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)” para el ruido de tráfico rodado.
- Método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en “*Rekenen Meetvoorschrift Railverkeerslawaa 96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Orddening en Milieubeheer, 20 November 1996*” para el ruido de trenes.
- Norma ISO 9613-2 “Acoustics. Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation” para el ruido industrial.
- CD “Mapa de Tráfico 2011” del Ministerio de Fomento (Dirección General de Tráfico).
- “Previsión de crecimiento del tráfico total interurbano en la red de carreteras del estado.” Ministerio de Fomento - Dirección General de Carreteras.
- Norma GUM: Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida
- Documento IMA32TR-040510-SP08: Determination of L_{den} and L_{night} using measurements (IMAGINE).

Anejo 1: Datos CD
"Mapa de tráfico
2011"

Vía:	M-21	PK: 2,51	(*)	Hora 30	Hora 100	Hora 500
Calzada:	Total		Intensidad Horaria Total (veh/hora)	6495	6058	
Población:	MADRID		Porcentaje de Pesados (%)	6,6	6,7	
Días Aforados:	357					

INTENSIDADES MEDIAS: IMD (VEH / DIA)

TIPO	TOTAL	MERCANCÍAS PELIGROSAS	VEH. EXTRANJEROS
MOTOS	224	0	0
COCHES	43112	0	0
COCHES CON CARAVANA	6	0	0
CAMIONETAS	1896	0	0
TRACTORES AGRICOLAS	0	0	0
VEHICULOS LIGEROS	45014	0	0
CAMIONES SIN REMOLQUE	2219	0	0
CAMIONES ARTICULADOS	1761	0	0
TRENES DE CARRETERA	87	0	0
VEHICULOS ESPECIALES	9	0	0
AUTOBUSES	174	0	0
VEHICULOS PESADOS	4250	0	0
TOTAL	49488	0	0

COEFICIENTES

Mes	L			K			N			S		
	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total
ENERO	1,00	1,06	1,01	2,54	2,39	2,53	1,03	1,13	1,04	0,85	0,75	0,84
FEBRERO	0,98	0,92	0,97	2,62	2,49	2,61	1,03	1,15	1,04	0,85	0,75	0,84
MARZO	0,92	0,89	0,92	2,51	2,50	2,51	1,03	1,16	1,04	0,85	0,75	0,84
ABRIL	0,89	0,85	0,89	2,50	2,38	2,49	1,02	1,12	1,03	0,85	0,75	0,84
MAYO	0,98	0,94	0,98	2,52	2,40	2,51	1,03	1,12	1,04	0,85	0,75	0,84
JUNIO	0,93	0,95	0,94	2,56	2,40	2,55	1,03	1,12	1,04	0,84	0,75	0,83
JULIO	1,00	1,00	1,00	2,59	2,37	2,57	1,03	1,12	1,03	0,83	0,75	0,82
AGOSTO	1,37	1,30	1,36	2,57	2,45	2,56	1,02	1,13	1,03	0,85	0,75	0,84
SEPTIEMBRE	1,01	0,98	1,01	2,62	2,42	2,60	1,03	1,15	1,04	0,85	0,75	0,84
OCTUBRE	0,98	1,01	0,99	2,61	2,41	2,59	1,03	1,14	1,04	0,86	0,75	0,85
NOVIEMBRE	0,99	1,09	1,00	2,56	2,35	2,54	1,03	1,16	1,04	0,86	0,75	0,85
DICIEMBRE	1,05	1,20	1,07	2,47	2,42	2,46	1,03	1,14	1,04	0,86	0,75	0,85
TOTAL	1,01	1,01	1,01	2,56	2,42	2,54	1,03	1,14	1,04	0,84	0,75	0,84

Vía:	M-21	PK: 2,51		Hora 30	Hora 100	Hora 500
Calzada:	1		Intensidad Horaria Total (veh/hora)	3273	2840	
Población:	MADRID		Porcentaje de Pesados (%)	5,9	6,9	
Días Aforados:	357					

INTENSIDADES MEDIAS: IMD (VEH / DIA)

TIPO	TOTAL	MERCANCÍAS PELIGROSAS	VEH. EXTRANJEROS
MOTOS	108	0	0
COCHES	18989	0	0
COCHES CON CARAVANA	3	0	0
CAMIONETAS	954	0	0
TRACTORES AGRICOLAS	0	0	0
VEHICULOS LIGEROS	19946	0	0
CAMIONES SIN REMOLQUE	1060	0	0
CAMIONES ARTICULADOS	847	0	0
TRENES DE CARRETERA	28	0	0
VEHICULOS ESPECIALES	4	0	0
AUTOBUSES	85	0	0
VEHICULOS PESADOS	2024	0	0
TOTAL	22078	0	0

COEFICIENTES

Mes	L			K			N			S		
	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total
ENERO	1,01	1,02	1,01	2,82	2,34	2,77	1,04	1,10	1,05	0,87	0,75	0,85
FEBRERO	1,02	0,92	1,01	2,73	2,44	2,70	1,05	1,13	1,05	0,88	0,75	0,86
MARZO	0,89	0,88	0,89	2,76	2,46	2,73	1,04	1,13	1,05	0,86	0,75	0,85
ABRIL	0,82	0,84	0,83	2,62	2,35	2,59	1,03	1,07	1,03	0,85	0,75	0,84
MAYO	1,01	0,92	1,00	2,77	2,37	2,72	1,04	1,08	1,04	0,87	0,75	0,85
JUNIO	0,96	0,96	0,96	2,79	2,32	2,74	1,03	1,07	1,03	0,86	0,75	0,85
JULIO	1,01	1,05	1,01	2,59	2,37	2,57	1,02	1,08	1,03	0,84	0,75	0,83
AGOSTO	1,39	1,34	1,38	2,81	2,47	2,77	1,04	1,10	1,05	0,87	0,75	0,86
SEPTIEMBRE	1,01	0,98	1,01	2,74	2,42	2,71	1,05	1,13	1,06	0,87	0,75	0,86
OCTUBRE	1,00	1,01	1,00	2,75	2,35	2,71	1,04	1,11	1,05	0,88	0,75	0,87
NOVIEMBRE	1,00	1,08	1,01	2,96	2,44	2,91	1,05	1,13	1,05	0,88	0,75	0,87
DICIEMBRE	1,04	1,19	1,05	2,74	2,40	2,71	1,05	1,13	1,06	0,88	0,75	0,87
TOTAL	1,01	1,02	1,01	2,76	2,39	2,72	1,04	1,10	1,05	0,87	0,75	0,85

Vía:	M-21	PK: 2,51		Hora 30	Hora 100	Hora 500
Calzada:	2		Intensidad Horaria Total (veh/hora)	4066	3931	
Población:	MADRID		Porcentaje de Pesados (%)	5,4	5,1	
Días Aforados:	357					

INTENSIDADES MEDIAS: IMD (VEH / DIA)

TIPO	TOTAL	MERCANCÍAS PELIGROSAS	VEH. EXTRANJEROS
MOTOS	116	0	0
COCHES	24123	0	0
COCHES CON CARAVANA	3	0	0
CAMIONETAS	942	0	0
TRACTORES AGRICOLAS	0	0	0
VEHICULOS LIGEROS	25068	0	0
CAMIONES SIN REMOLQUE	1159	0	0
CAMIONES ARTICULADOS	914	0	0
TRENES DE CARRETERA	59	0	0
VEHICULOS ESPECIALES	5	0	0
AUTOBUSES	89	0	0
VEHICULOS PESADOS	2226	0	0
TOTAL	27410	0	0

COEFICIENTES

Mes	L			K			N			S		
	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total	Ligeros	Pesados	Total
ENERO	1,00	1,10	1,01	2,36	2,44	2,36	1,03	1,17	1,04	0,83	0,75	0,83
FEBRERO	0,95	0,92	0,94	2,54	2,55	2,54	1,02	1,18	1,03	0,83	0,75	0,82
MARZO	0,96	0,89	0,95	2,34	2,54	2,35	1,02	1,18	1,03	0,84	0,75	0,83
ABRIL	0,96	0,86	0,95	2,41	2,41	2,41	1,02	1,17	1,03	0,84	0,75	0,83
MAYO	0,96	0,94	0,96	2,36	2,43	2,36	1,02	1,17	1,04	0,84	0,75	0,83
JUNIO	0,92	0,94	0,92	2,41	2,48	2,42	1,03	1,16	1,04	0,83	0,75	0,82
JULIO	1,00	0,96	0,99	2,58	2,37	2,56	1,03	1,16	1,04	0,82	0,75	0,81
AGOSTO	1,35	1,27	1,34	2,41	2,43	2,41	1,01	1,15	1,02	0,84	0,76	0,83
SEPTIEMBRE	1,01	0,98	1,00	2,53	2,41	2,52	1,02	1,16	1,03	0,84	0,75	0,83
OCTUBRE	0,97	1,01	0,97	2,50	2,48	2,50	1,03	1,17	1,04	0,84	0,75	0,83
NOVIEMBRE	0,98	1,08	0,99	2,32	2,28	2,32	1,02	1,18	1,03	0,84	0,75	0,83
DICIEMBRE	1,07	1,20	1,08	2,29	2,42	2,29	1,01	1,16	1,02	0,85	0,75	0,84
TOTAL	1,01	1,01	1,01	2,42	2,44	2,42	1,02	1,17	1,03	0,84	0,75	0,83



MINISTERIO
DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE PLANIFICACIÓN
E INFRAESTRUCTURAS
SECRETARÍA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS

ESTACIONES. DATOS DEFINITIVOS TRAFICO

Estacion:

E-87-0

Via: M-21

PK: 2,51

AÑO: 2011

tipo: Autovia

Provincia:

MADRID

Calzada 1+2	IMD Definitivo	Num Días	Nº Días Validos	Nº Días Validos 84	Afin	Calzada 1	Afin	Calzada 2
Motos:	224	355	84	84		108		116
Ligeros:	45.014	355	84	84	E-87-0	19.946	E-87-0	25.068
Pesados:	4.250	355	84	83	E-87-0	2.024	E-87-0	2.226
Total:	49.488	355	84	84		22.078		27.410

Ligeros	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	52643	52001	51325	55779	51506	27464	21667	44735
	FEBRERO	53190	53954	53183 *	55275	54727	28277	22431	45975
	MARZO	56115	57009	57502	57950	57091	29493	24248	48603
	ABRIL	57052	58519	59820	61297	58893	30522	23602	50075
	MAYO	52482	55887	50148	53801	57376	28964	22033	45926
	JUNIO	56998	54678	58471	56605	55606	27790	22756	47674
	JULIO	54616	51912	53023	50061	54202	24246	18697	43929
	AGOSTO	37692	39295	40010	38024	38377	20193	16705	32981
	SEPTIEMBRE	52350	52820	53985	53572	49585	27495	22758	44760
	OCTUBRE	52057	54885	51988	54574	55638	30341	23427	46243
	NOVIEMBRE	53298	52035	50987	54827	55855	30209	23373	45910
	DICIEMBRE	51566	45596	52871	48855	51829	28314	23734	43357
	TOTAL:	52505	52383	52776	53385	53390	27776	22119	45014

Pesados	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	5287	5655	5496	4980	5172	861	462	3985
	FEBRERO	6050	6188	6115	6235	6158	1071	454	4608
	MARZO	6202	6509	6364	6530	6223	1149	484	4778
	ABRIL	6184	6712	6666	6832	6771	1200	513	4980
	MAYO	4923 *	6301 *	6174	6595	6454	1152	471	4580
	JUNIO	6030	6246	6204	5405	5892	1119	479	4480
	JULIO	4574	6186	5824	5928	5812	1011	368	4241
	AGOSTO	3662	4674	4566	4502	4344	875	360	3282
	SEPTIEMBRE	5780	6014	5926	5948	5192	967	454	4324
	OCTUBRE	5523	6081	4630	5938	5909	1065	476	4229
	NOVIEMBRE	5334	4701	4947	5701	5536	948	440	3942
	DICIEMBRE	5084	4286	5097	4429	4783	925	392	3569
	TOTAL:	5386	5796	5667	5752	5687	1029	446	4250

Total	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	58451	58173	57329	61310	57188	28590	22336	48943
	FEBRERO	59768	60679	59826 *	62058	61428	29623	23100	50809
	MARZO	62877	64086	64442	65060	63882	30928	24966	53628
	ABRIL	63805	65819	67084	68743	66252	32016	24345	55316
	MAYO	57921 ***	62744 ***	56823	60930	64401	30394	22714	50731
	JUNIO	63595	61465	65255	62567	62051	29177	23453	52388
	JULIO	59726	58615	59375	56487	60552	25490	19245	48388
	AGOSTO	41724	44361	44973	42904	43102	21266	17225	36425
	SEPTIEMBRE	58650	59361	60447	60053	55269	28728	23432	49308
	OCTUBRE	58096	61511	57128	61053	62099	31700	24129	50701
	NOVIEMBRE	59161	57246	56440	61071	61944	31450	24038	50079
	DICIEMBRE	57162	50331	58489	53764	57124	29513	24352	47141
	TOTAL:	58411	58699	58968	59667	59608	29073	22778	49488

* => Dato Estimado; Dato original eliminado

** => Dato Estimado;

*** => Dato Estimado en Pesados;

**** => Dato Estimado en una calzada;



MINISTERIO
DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE PLANIFICACIÓN
E INFRAESTRUCTURAS
SECRETARÍA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS

ESTACIONES. DATOS DEFINITIVOS TRAFICO

Estacion: E-87-0
Provincia: MADRID

Via: M-21 PK: 2,51

AÑO: 2011
tipo: Autovia

Calzada 1		IMD Definitivo	Num Días	Nº Días Validos	Nº Días Validos 84	Afin			
Motos:		108	355	84	84				
Ligeros:		19.946	355	84	84	E-87-0			
Pesados:		2.024	355	84	83	E-87-0			
Total:		22.078	355	84	84				

Ligeros	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	22742	21999	21945	25014	22190	13407	10736	19718
	FEBRERO	22072	22908	22544	22456	22759	14803	11177	19816
	MARZO	25061	26024	26238	26616	25639	14183	12083	22262
	ABRIL	27192	28458	28337	29183	26383	15327	12048	23846
	MAYO	21894	24074	21258	21862	25298	13709	10703	19827
	JUNIO	25174	21964	25095	22917	24657	13019	11094	20559
	JULIO	23812	21827	23317	20602	24308	11219	9309	19198
	AGOSTO	14959	17046	17437	16296	17104	9824	8258	14417
	SEPTIEMBRE	22674	22796	23378	23221	21933	13568	11258	19832
	OCTUBRE	22603	23654	20947	23357	24253	14759	11753	20188
	NOVIEMBRE	23311	21131	22361	23841	24203	14772	11664	20182
	DICIEMBRE	22820	20450	23404	21576	22829	13522	11974	19510
	TOTAL:	22860	22694	23022	23078	23463	13509	11005	19946

Pesados	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	2511	2721	2638	2788	2499	406	223	1968
	FEBRERO	2857	2954	2891	2948	2970	502	214	2190
	MARZO	2932	3102	3049	3144	3039	541	230	2290
	ABRIL	2984	3275	3188	3307	3286	578	240	2407
	MAYO	2434 ***	2918 ***	3060	3152	3162	556	223	2214
	JUNIO	2821	2978	2877	2553	2784	532	222	2108
	JULIO	2068	2791	2656	2672	2700	461	178	1931
	AGOSTO	1697	2162	2118	2055	2035	398	166	1518
	SEPTIEMBRE	2754	2895	2816	2858	2501	459	215	2070
	OCTUBRE	2624	2901	2206	2798	2846	500	220	2012
	NOVIEMBRE	2568	2223	2326	2687	2649	444	196	1869
	DICIEMBRE	2454	2043	2432	2128	2293	441	186	1710
	TOTAL:	2559	2747	2688	2758	2730	485	209	2024

Total	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	25376	24840	24701	27937	24809	13882	11014	21793
	FEBRERO	25049	25986	25557	25526	25853	15382	11448	22113
	MARZO	28129	29266	29429	29904	28816	14798	12376	24673
	ABRIL	30323	31887	31678	32647	29812	15984	12351	26381
	MAYO	24446	27122	24435	25133	28597	14336	10981	22149
	JUNIO	28131	25061	28107	25593	27574	13619	11373	22779
	JULIO	26006	24736	26099	23386	27139	11738	9535	21233
	AGOSTO	16736	19300	19649	18439	19231	10274	8466	16013
	SEPTIEMBRE	25550	25815	26320	26205	24552	14098	11531	22009
	OCTUBRE	25349	26683	23266	26281	27230	15336	12034	22310
	NOVIEMBRE	26004	23467	24808	26657	26983	15293	11921	22161
	DICIEMBRE	25397	22602	25961	23819	25245	14034	12221	21325
	TOTAL:	25541	25564	25834	25961	26320	14065	11271	22078

* => Dato Estimado; Dato original eliminado

** => Dato Estimado;

*** => Dato Estimado en Pesados;

**** => Dato Estimado en una calzada;



ESTACIONES. DATOS DEFINITIVOS TRAFICO

Estacion: E-87-0
Provincia: MADRID

Via: M-21 PK: 2,51

AÑO: 2011
tipo: Autovia

Calzada 2		IMD Definitivo	Num Días	Nº Días Validos	Nº Días Validos 84	Afin			
Motos:		116	355	84	83				
Ligeros:		25.068	355	84	83	E-87-0			
Pesados:		2.226	355	84	84	E-87-0			
Total:		27.410	355	84	83				

Ligeros	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	30031	30131	29507	30904	29444	14126	10985	25017
	FEBRERO	31250	31180	30771 ***	32956	32103	13545	11310	26158
	MARZO	31194	31127	31408	31479	31594	15384	12226	26344
	ABRIL	30002	30208	31633	32267	32656	15271	11614	26235
	MAYO	30718	31952	29014	32072	32220	15327	11385	26097
	JUNIO	31966	32849	33521	33828	31088	14840	11719	27115
	JULIO	30939	30214	29838	29583	30029	13087	9435	24731
	AGOSTO	22826	22347	22672	21822	21368	10420	8489	18562
	SEPTIEMBRE	29806	30156	30741	30484	27775	13996	11557	24930
	OCTUBRE	29583	31367	31170	31352	31523	15658	11733	26054
	NOVIEMBRE	30120	31033	28752	31122	31790	15513	11767	25727
	DICIEMBRE	28875	25259	29598	27400	29129	14863	11819	23848
	TOTAL:	29776	29819	29885	30439	30060	14336	11170	25068

Pesados	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	2776	2934	2858	2192	2673	455	239	2017
	FEBRERO	3193	3234	3224	3287	3188	569	240	2418
	MARZO	3270	3407	3315	3386	3184	608	254	2488
	ABRIL	3200	3437	3478	3525	3485	622	273	2573
	MAYO	2489	3383	3114	3443	3292	596	248	2366
	JUNIO	3209	3268	3327	2852	3108	587	257	2372
	JULIO	2506	3395	3168	3256	3112	550	190	2310
	AGOSTO	1965	2512	2448	2447	2309	477	194	1764
	SEPTIEMBRE	3026	3119	3110	3090	2691	508	239	2254
	OCTUBRE	2899	3180	2424	3140	3063	565	256	2217
	NOVIEMBRE	2766	2478	2621	3014	2887	504	244	2073
	DICIEMBRE	2630	2243	2665	2301	2490	484	206	1859
	TOTAL:	2827	3049	2979	2994	2957	544	237	2226

Total	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	32945	33204	32501	33237	32252	14644	11272	27150
	FEBRERO	34587	34558	34137	36395	35439	14174	11600	28698
	MARZO	34608	34678	34869	35011	34924	16061	12534	28954
	ABRIL	33340	33785	35257	35942	36292	15961	11939	28930
	MAYO	33347	35483	32262	35663	35661	15991	11683	28583
	JUNIO	35322	36268	37003	36835	34339	15493	12028	29612
	JULIO	33587	33749	33144	32976	33279	13695	9667	27156
	AGOSTO	24896	24963	25224	24370	23775	10944	8721	20412
	SEPTIEMBRE	32970	33414	33993	33715	30594	14566	11848	27299
	OCTUBRE	32618	34692	33736	34637	34731	16293	12041	28392
	NOVIEMBRE	33025	33653	31506	34279	34823	16086	12063	27918
	DICIEMBRE	31638	27617	32398	29826	31752	15413	12077	25816
	TOTAL:	32740	33005	33003	33574	33155	14943	11456	27410

* => Dato Estimado; Dato original eliminado

** => Dato Estimado;

*** => Dato Estimado en Pesados;

**** => Dato Estimado en una calzada;

VELOCIDADES TEMPORALES DE TODOS LOS DÍAS DEL AÑO

AÑO: 2011

Estación: E-87-0

Via: M-21

PK: 2,51

Tipo: Autovía

Provincia: MADRID

	Nº días válidos	IMD	Velocidad Media	Crecimiento 2011/2010	Coeficientes de variación (*)			
					Total	Diario	Semanal	Mensual
Ligeros:	355	45014	99.4	-2.4	16.9	3	2.2	1.7
Pesados:	355	4250	85.2	-2.1	15.2	3.2	2.9	1
Total (Con Motos):	355	49488	98.3	-2.4	17.4	3.3	2.7	1.7

TOTAL ESTACIÓN

Ligeros	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	96.8	96.9	97.6	97.5	97.3	102.9	104	99
	FEBRERO	95.2	95.7	96.6	96.7	96.2	97.3	103.8	97.4
	MARZO	96	96	96.2	97.3	94.5	101.2	101.7	97.6
	ABRIL	97.6	97.9	97.6	97.2	97.3	101.8	101.5	98.7
	MAYO	97.7	96.7	96.6	94.1	95	100.1	101.5	97.4
	JUNIO	96.4	97.4	96.5	97.2	98.3	101.7	102	98.5
	JULIO	100.3	100.7	101.4	100.2	101.2	104.6	99.7	101.2
	AGOSTO	102.6	102.7	102	100.5	102.5	103.9	104.4	102.7
	SEPTIEMBRE	99.5	100.2	99.4	99.6	100	103.7	104.4	101
	OCTUBRE	98.4	98.4	98.4	95.7	97.5	104.8	105	99.7
	NOVIEMBRE	95.7	97.1	98.5	96.6	97.8	104.4	104.5	99.2
	DICIEMBRE	99.7	99.9	100.7	99.3	99.1	104.6	104.6	101.1
	TOTAL:	98,0	98,3	98,5	97,7	98,1	102,6	103,1	99,5

Pesados	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	82.8	83.7	83.6	83.3	83.5	89.9	87.1	84.8
	FEBRERO	81.7	82.7	83.5	83.4	82.7	90.7	86.9	84.5
	MARZO	82.5	82.8	83	83.6	82.7	90	87	84.5
	ABRIL	83.1	83.7	83.6	83.4	83.4	90.1	87.2	84.9
	MAYO	83.4	83.7	75.8	82.1	82.7	89.5	86.7	83.4
	JUNIO	82.8	83.9	83.5	83.4	85.2	89.8	87.8	85.2
	JULIO	84.1	84.7	85	84.3	85.2	90.8	88.8	86.1
	AGOSTO	85.2	85.6	85.4	84.8	85.8	90	88.5	86.5
	SEPTIEMBRE	84.2	84.8	84.6	84.7	84.7	90.2	88.4	86
	OCTUBRE	83.8	84.3	83.9	82.1	83.6	90.3	88.1	85.2
	NOVIEMBRE	83.1	84	84.7	83.4	84.7	91.9	87	85.5
	DICIEMBRE	84.5	85.4	85.9	84.8	84.7	90.1	87.5	86.1
	TOTAL:	83,4	84,1	83,5	83,6	84,1	90,3	87,6	85,2

Total	Mes	L	M	X	J	V	S	D	T
	ENERO	95.5	95.6	96.2	96.3	96	102.5	103.7	98
	FEBRERO	93.7	94.3	95.2	95.3	94.8	97.1	103.4	96.3
	MARZO	94.6	94.7	94.9	95.9	93.3	100.7	101.4	96.5
	ABRIL	96.1	96.5	96.2	95.8	96	101.4	101.2	97.6
	MAYO	96.4	95.3	94.1	92.8	93.8	99.7	101.2	96.2
	JUNIO	95.1	96.2	95.3	95.9	97.1	101.3	101.7	97.5
	JULIO	98.9	99	99.8	98.5	99.7	104.1	99.5	99.9
	AGOSTO	100.9	100.9	100.3	98.8	100.7	103.3	104	101.3
	SEPTIEMBRE	98	98.6	97.9	98.1	98.6	103.2	104.1	99.8
	OCTUBRE	97	96.9	97.1	94.4	96.2	104.3	104.6	98.6
	NOVIEMBRE	94.5	95.8	97.2	95.4	96.6	104	104.1	98.2
	DICIEMBRE	98.3	98.6	99.4	98.1	97.9	104.1	104.3	100.1
	TOTAL:	96,6	96,9	97,0	96,3	96,7	102,1	102,8	98,3

* => Coeficiente de Variación = CV = (Desviación Típica / Media) x 100

CV Total: CV de las velocidades de la totalidad de vehículos agrupados en 6 o 15 intervalos de velocidad

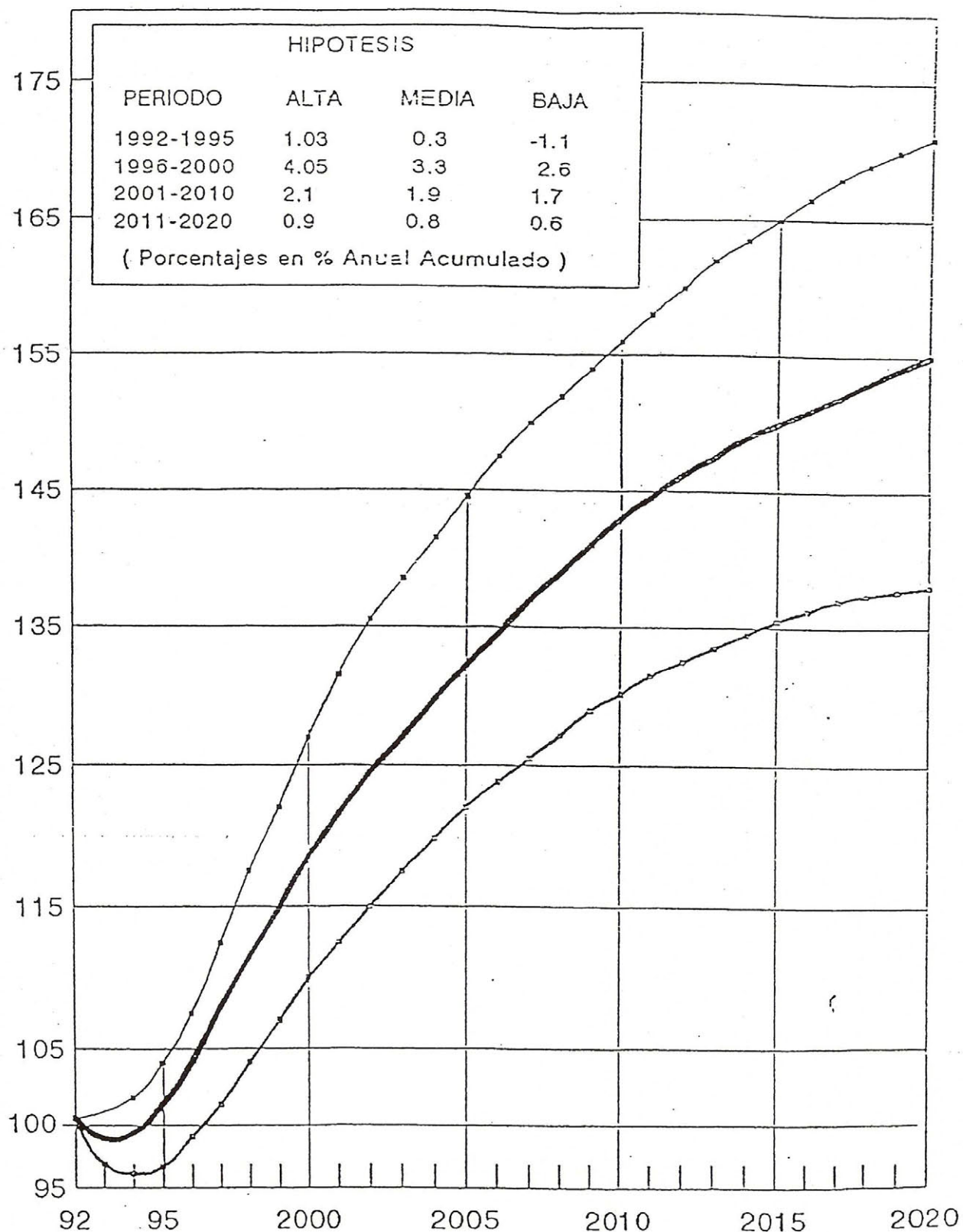
CV Diario: CV de la velocidad media de todos los días que aparecen en la tabla (84 días máximo)

CV Semanal: CV de la velocidad media de los 7 días medios de la semana

CV Mensual: CV de la velocidad media de los 12 días medios correspondientes a los 12 meses del año

Anejo 2: Previsión de crecimiento del tráfico interurbano

PRÉVISION DE CRECIMIENTO DE TRAFICO TOTAL INTERURBANO EN LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO



CRECIMIENTOS PREVISIBLES EN ZONA INTERURBANA DE LA R.C.E.

	HIPOTESIS ALTA	HIPOTESIS MEDIA	HIPOTESIS BAJA
1996/97	3.4	3.0	2.6
1997/96	4.7	3.8	2.0
1998/97	4.4	3.2	3.0
1999/98	3.8	3.1	2.9
2000/99	4.1	3.0	2.8
2001/00	3.5	2.5	2.3
2002/01	3.0	2.5	2.3
2003/02	2.2	2.0	2.2
2004/03	2.2	2.0	1.7
2005/04	4.3	1.5	2.1
2006/05	2.1	1.9	1.6
2007/06	1.7	1.9	1.2
2008/07	1.3	1.5	1.2
2009/08	1.3	1.4	1.6
2010/09	1.3	1.4	0.8
2011/10	1.3	1.0	1.2
2012/11	1.3	1.0	0.8
2013/12	1.3	0.7	0.8
2014/13	0.9	1.4	0.7
2015/14	0.9	0.7	0.7
2016/15	0.9	0.7	0.4
2017/16	0.9	0.7	0.7
2018/17	0.6	0.7	0.2
2019/18	0.6	0.7	0.3
2020/19	0.6	0.6	0.2

AREA DE PLANIFICACIÓN, JULIO 1.993

Anejo 3: Horario de trenes

GUADALAJARA-CHAMARTÍN

Línea	Hora Salida	Hora Llegada	Tiempo de Viaje
C2	05.03	06.14	1.11
C2	05.19	06.31	1.12
C2	05.33	06.46	1.13
C2	05.48	07.00	1.12
C2	06.00	07.13	1.13
C7	06.12	07.24	1.12
C2	06.20	07.00	0.40
C7	06.24	07.36	1.12
C2	06.36	07.47	1.11
C2	06.48	08.00	1.12
C2	07.00	08.13	1.13
C7	07.12	08.24	1.12
C2	07.20	08.00	0.40
C7	07.24	08.36	1.12
C2	07.35	08.46	1.11
C2	07.48	09.00	1.12
C2	07.56	08.36	0.40
C2	08.00	09.13	1.13
C7	08.12	09.24	1.12
C7	08.24	09.36	1.12
C2	08.36	09.47	1.11
C2	08.48	10.00	1.12
C2	09.02	10.14	1.12
C2	09.18	10.30	1.12
C2	09.33	10.46	1.13
C2	10.03	11.14	1.11
C2	10.32	11.45	1.13
C2	11.03	12.14	1.11
C2	11.33	12.46	1.13
C2	12.03	13.14	1.11
C2	12.33	13.46	1.13
C2	13.03	14.14	1.11
C2	13.18	14.31	1.13
C2	13.34	14.45	1.11
C2	13.48	15.01	1.13
C2	14.03	15.14	1.11
C2	14.18	15.31	1.13
C2	14.33	15.44	1.11
C2	14.48	16.01	1.13
C2	15.03	16.14	1.11
C2	15.18	16.30	1.12
C2	15.33	16.45	1.12
C2	15.48	17.00	1.12
C2	16.03	17.14	1.11
C2	16.33	17.45	1.12
C2	16.48	18.00	1.12
C2	17.03	18.14	1.11
C2	17.18	18.30	1.12
C2	17.33	18.44	1.11
C2	17.48	19.00	1.12
C2	18.03	19.14	1.11
C2	18.18	19.30	1.12
C2	18.33	19.44	1.11
C2	18.48	20.00	1.12
C2	19.03	20.14	1.11
C2	19.18	20.30	1.12
C2	19.33	20.45	1.12
C2	19.48	21.00	1.12
C2	20.03	21.14	1.11
C2	20.19	21.31	1.12
C2	20.33	21.45	1.12
C2	21.05	22.16	1.11
C2	21.33	22.45	1.12
C2	22.03	23.14	1.11
C2	22.33	23.45	1.12
C2	23.06	00.18	1.12

CHAMARTÍN-GUADALAJARA

Línea	Hora Salida	Hora Llegada	Tiempo de Viaje
C2	05.00	06.09	1.09
C2	05.30	06.39	1.09
C2	05.40	06.49	1.09
C2	05.51	07.00	1.09
C2	06.09	07.18	1.09
C2	06.24	07.33	1.09
C2	06.39	07.48	1.09
C2	06.54	08.03	1.09
C8B	07.06	08.15	1.09
C2	07.23	08.32	1.09
C8B	07.37	08.46	1.09
C2	07.54	09.03	1.09
C8B	08.07	09.16	1.09
C2	08.23	09.11	0.48
C2	08.23	09.32	1.09
C8B	08.37	09.46	1.09
C2	08.53	10.02	1.09
C8B	09.07	10.16	1.09
C2	09.23	10.32	1.09
C8B	09.37	10.46	1.09
C2	10.08	11.17	1.09
C8B	10.36	11.45	1.09
C2	11.07	12.17	1.10
C8B	11.37	12.46	1.09
C2	12.07	13.17	1.10
C8B	12.36	13.45	1.09
C2	13.07	14.17	1.10
C8B	13.37	14.46	1.09
C2	13.52	15.01	1.09
C2	14.07	15.17	1.10
C2	14.22	15.31	1.09
C8B	14.37	15.46	1.09
C2	14.53	16.02	1.09
C2	14.54	15.39	0.45
C2	15.07	16.17	1.10
C2	15.22	16.31	1.09
C2	15.24	16.09	0.45
C8B	15.37	16.46	1.09
C2	15.52	17.01	1.09
C2	15.54	16.39	0.45
C2	16.07	17.16	1.09
C2	16.22	17.31	1.09
C8B	16.37	17.46	1.09
C2	16.52	18.01	1.09
C8B	17.07	18.16	1.09
C2	17.22	18.32	1.10
C8B	17.37	18.46	1.09
C2	17.52	19.01	1.09
C2	18.07	19.16	1.09
C2	18.22	19.31	1.09
C8B	18.37	19.46	1.09
C2	18.40	19.25	0.45
C2	18.52	20.01	1.09
C2	19.05	19.50	0.45
C2	19.07	20.16	1.09
C2	19.23	20.32	1.09
C2	19.35	20.20	0.45
C8B	19.37	20.46	1.09
C2	19.52	21.01	1.09
C8B	20.07	21.16	1.09
C8B	20.38	21.47	1.09
C8B	21.07	22.16	1.09
C8B	21.37	22.46	1.09
C2	22.07	23.17	1.10
C8B	22.37	23.46	1.09
C2	23.07	00.14	1.07
C8B	23.37	00.46	1.09

ALCALÁ DE HENARES-CHAMARTÍN

Línea	Hora Salida	Hora Llegada	Tiempo de Viaje
C2	05.10	06.01	0.51
C2	05.23	06.14	0.51
C2	05.39	06.31	0.52
C2	05.53	06.46	0.53
C7	06.02	06.53	0.51
C2	06.08	07.00	0.52
C2	06.14	07.06	0.52
C2	06.20	07.13	0.53
C2	06.26	07.17	0.51
C7	06.31	07.24	0.53
C2	06.36	07.00	0.24
C2	06.38	07.30	0.52
C7	06.43	07.36	0.53
C2	06.50	07.44	0.54
C2	06.56	07.47	0.51
C7	07.02	07.53	0.51
C2	07.08	08.00	0.52
C7	07.14	08.06	0.52
C2	07.20	08.13	0.53
C2	07.26	08.17	0.51
C7	07.31	08.24	0.53
C2	07.36	08.00	0.24
C2	07.38	08.30	0.52
C7	07.43	08.36	0.53
C2	07.50	08.42	0.52
C2	07.55	08.46	0.51
C7	08.01	08.53	0.52
C2	08.08	09.00	0.52
C2	08.12	08.36	0.24
C7	08.14	09.05	0.51
C2	08.20	09.13	0.53
C7	08.31	09.24	0.53
C2	08.38	09.30	0.52
C7	08.43	09.36	0.53
C2	08.50	09.42	0.52
C2	08.56	09.47	0.51
C7	09.02	09.53	0.51
C2	09.08	10.00	0.52
C7	09.14	10.05	0.51
C2	09.22	10.14	0.52
C7	09.30	10.23	0.53
C2	09.38	10.30	0.52
C7	09.44	10.37	0.53
C2	09.53	10.46	0.53
C7	10.02	10.53	0.51
C2	10.14	11.06	0.52
C2	10.23	11.14	0.51
C7	10.32	11.23	0.51
C2	10.44	11.36	0.52
C2	10.52	11.45	0.53
C7	11.03	11.54	0.51
C2	11.14	12.07	0.53
C2	11.23	12.14	0.51
C7	11.33	12.24	0.51
C2	11.45	12.37	0.52
C2	11.53	12.46	0.53
C7	12.02	12.53	0.51
C2	12.14	13.07	0.53
C2	12.23	13.14	0.51
C7	12.33	13.24	0.51
C2	12.44	13.36	0.52
C2	12.53	13.46	0.53
C7	13.03	13.54	0.51
C2	13.14	14.06	0.52
C2	13.23	14.14	0.51
C7	13.32	14.24	0.52
C2	13.38	14.31	0.53
C7	13.46	14.37	0.51
C2	13.54	14.45	0.51
C7	14.01	14.52	0.51
C2	14.08	15.01	0.53
C7	14.16	15.07	0.51

ALCALÁ DE HENARES-CHAMARTÍN

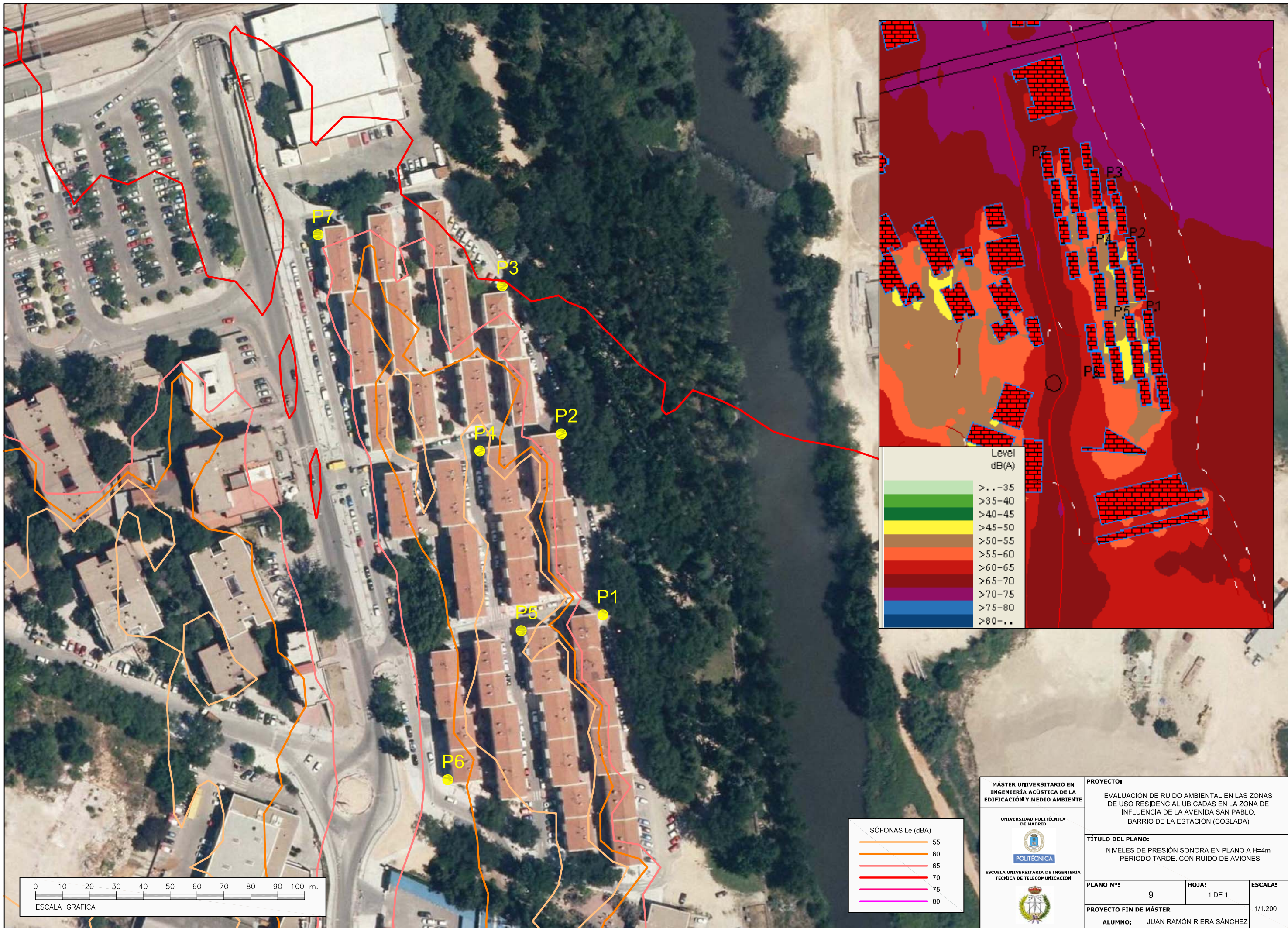
Línea	Hora Salida	Hora Llegada	Tiempo de Viaje
C7	18.16	19.07	0.51
C2	18.23	19.14	0.51
C7	18.31	19.22	0.51
C2	18.38	19.30	0.52
C7	18.46	19.37	0.51
C2	18.53	19.44	0.51
C7	19.01	19.52	0.51
C2	19.08	20.00	0.52
C7	19.16	20.07	0.51
C2	19.23	20.14	0.51
C7	19.31	20.22	0.51
C2	19.38	20.30	0.52
C7	19.46	20.37	0.51
C2	19.53	20.45	0.52
C7	20.01	20.52	0.51
C2	20.08	21.00	0.52
C2	20.16	21.08	0.52
C2	20.23	21.14	0.51
C7	20.31	21.22	0.51
C2	20.39	21.31	0.52
C2	20.45	21.37	0.52
C2	20.53	21.45	0.52
C7	21.02	21.54	0.52
C2	21.25	22.16	0.51
C7	21.32	22.23	0.51
C2	21.44	22.36	0.52
C2	21.53	22.45	0.52
C7	22.01	22.52	0.51
C2	22.14	23.06	0.52
C2	22.23	23.14	0.51
C7	22.31	23.22	0.51
C2	22.46	23.38	0.52
C2	22.53	23.45	0.52
C2	23.04	23.56	0.52
C2	23.26	00.18	0.52

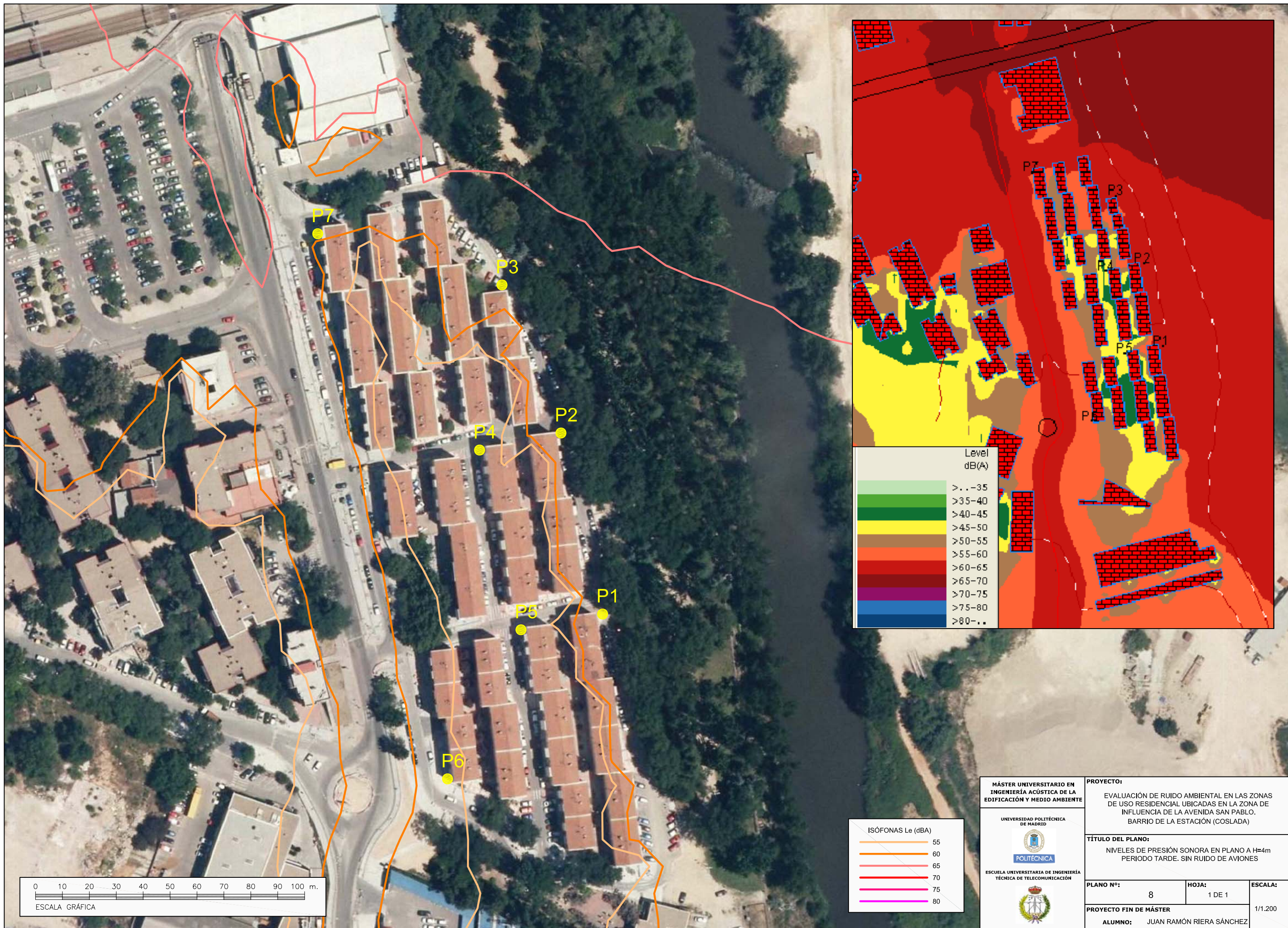
CHAMARTÍN-ALCALÁ DE HENARES

Línea	Hora Salida	Hora Llegada	Tiempo de Viaje
C2	05.00	05.49	0.49
C2	05.30	06.19	0.49
C2	05.40	06.29	0.49
C7	05.47	06.36	0.49
C2	05.51	06.40	0.49
C2	06.01	06.50	0.49
C2	06.09	06.58	0.49
C7	06.17	07.06	0.49
C2	06.24	07.13	0.49
C7	06.31	07.20	0.49
C2	06.39	07.28	0.49
C7	06.47	07.36	0.49
C2	06.54	07.43	0.49
C2	07.01	07.50	0.49
C8B	07.06	07.55	0.49
C2	07.15	08.04	0.49
C2	07.23	08.12	0.49
C7	07.29	08.18	0.49
C8B	07.37	08.26	0.49
C2	07.43	08.32	0.49
C7	07.48	08.37	0.49
C2	07.54	08.43	0.49
C7	08.01	08.50	0.49
C8B	08.07	08.56	0.49
C7	08.15	09.04	0.49
C2	08.23	08.52	0.29
C2	08.23	09.12	0.49
C7	08.31	09.20	0.49
C8B	08.37	09.26	0.49
C7	08.45	09.34	0.49
C2	08.53	09.42	0.49
C7	08.59	09.48	0.49
C8B	09.07	09.56	0.49
C7	09.15	10.04	0.49
C2	09.23	10.12	0.49
C7	09.29	10.18	0.49
C8B	09.37	10.26	0.49
C7	09.46	10.35	0.49
C7	09.59	10.48	0.49
C2	10.08	10.57	0.49
C2	10.17	11.07	0.50
C7	10.27	11.16	0.49
C8B	10.36	11.25	0.49
C2	10.45	11.35	0.50
C7	10.58	11.47	0.49
C2	11.07	11.57	0.50
C2	11.16	12.06	0.50
C7	11.28	12.17	0.49
C8B	11.37	12.26	0.49
C2	11.45	12.35	0.50
C7	11.58	12.47	0.49
C2	12.07	12.57	0.50
C2	12.16	13.06	0.50
C7	12.28	13.17	0.49
C8B	12.36	13.25	0.49
C2	12.46	13.36	0.50
C7	12.58	13.47	0.49
C2	13.07	13.57	0.50
C2	13.17	14.07	0.50
C7	13.28	14.17	0.49
C8B	13.37	14.26	0.49
C7	13.44	14.33	0.49
C2	13.52	14.41	0.49
C7	13.59	14.48	0.49
C2	14.07	14.57	0.50
C7	14.15	15.04	0.49
C2	14.22	15.11	0.49
C7	14.29	15.18	0.49
C8B	14.37	15.26	0.49
C7	14.45	15.34	0.49
C2	14.53	15.42	0.49
C2	14.54	15.22	0.28
C7	14.59	15.48	0.49
C2	15.07	15.56	0.49
C7	15.16	16.05	0.49
C2	15.22	16.11	0.49
C2	15.24	15.52	0.28
C7	15.26	16.15	0.49
C8B	15.37	16.26	0.49
C2	15.45	16.34	0.49
C2	15.52	16.41	0.49
C2	15.54	16.22	0.28
C7	16.00	16.49	0.49
C2	16.07	16.56	0.49
C2	16.15	17.04	0.49
C2	16.22	17.11	0.49
C7	16.29	17.18	0.49
C8B	16.37	17.26	0.49
C2	16.45	17.34	0.49
C2	16.52	17.41	0.49
C7	16.59	17.48	0.49
C8B	17.07	17.56	0.49
C2	17.15	18.04	0.49
C2	17.22	18.12	0.50
C7	17.29	18.18	0.49
C8B	17.37	18.26	0.49
C2	17.45	18.34	0.49
C2	17.52	18.41	0.49
C7	17.59	18.48	0.49
C2	18.07	18.56	0.49
C7	18.15	19.04	0.49

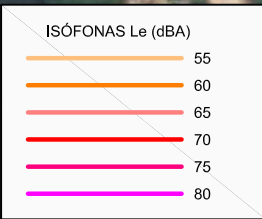
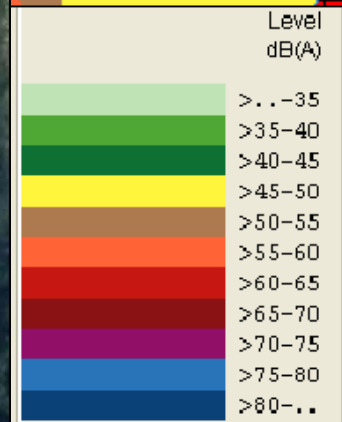
C2	18.22	19.11	0.49
C7	18.29	19.18	0.49
C8B	18.37	19.26	0.49
C2	18.40	19.08	0.28
C7	18.45	19.34	0.49
C2	18.52	19.41	0.49
C7	18.59	19.48	0.49
C2	19.05	19.33	0.28
C2	19.07	19.56	0.49
C7	19.15	20.04	0.49
C2	19.23	20.12	0.49
C7	19.29	20.18	0.49
C2	19.35	20.03	0.28
C8B	19.37	20.26	0.49
C7	19.45	20.34	0.49
C2	19.52	20.41	0.49
C7	19.59	20.48	0.49
C8B	20.07	20.56	0.49
C2	20.15	21.04	0.49
C2	20.24	21.13	0.49
C7	20.29	21.18	0.49
C8B	20.38	21.27	0.49
C2	20.46	21.36	0.50
C7	20.59	21.48	0.49
C8B	21.07	21.56	0.49
C2	21.16	22.06	0.50
C7	21.29	22.18	0.49
C8B	21.37	22.26	0.49
C2	21.47	22.37	0.50
C7	21.59	22.48	0.49
C2	22.07	22.57	0.50



Anejo 4 : Planos

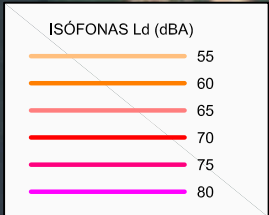
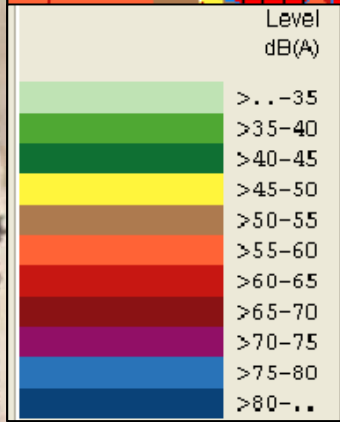
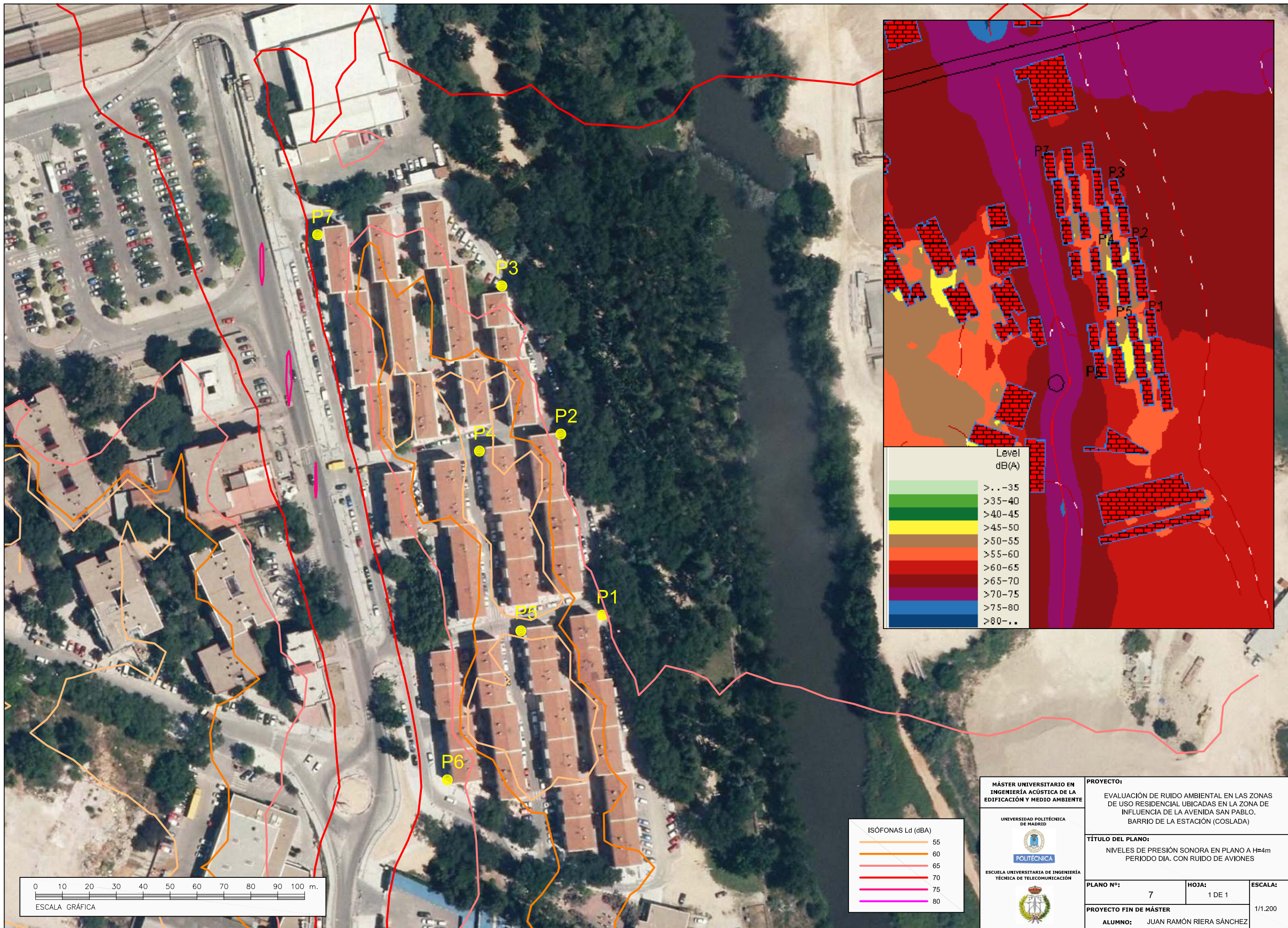




0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m.
ESCALA GRÁFICA



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE		PROYECTO:	
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL EN LAS ZONAS DE USO RESIDENCIAL UBICADAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA AVENIDA SAN PABLO. BARRIO DE LA ESTACIÓN (COSLADA)	
		TÍTULO DEL PLANO:	
 ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN		NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN PLANO A H=4m PERIODO TARDE. SIN RUIDO DE AVIONES	
		PLANO N°:	HOJA:
		8	1 DE 1
		PROYECTO FIN DE MÁSTER	
		ALUMNO: JUAN RAMÓN RIERA SÁNCHEZ	
		ESCALA:	
		1/1.200	



MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA ACÚSTICA DE LA
EDIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA
TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN



PROYECTO:

EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL EN LAS ZONAS
DE USO RESIDENCIAL UBICADAS EN LA ZONA DE
INFLUENCIA DE LA AVENIDA SAN PABLO.
BARRIO DE LA ESTACIÓN (COSLADA)

TÍTULO DEL PLANO:

NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN PLANO A H=4m
PERIODO DÍA. CON RUIDO DE AVIONES

PLANO N°:

7

HOJA:

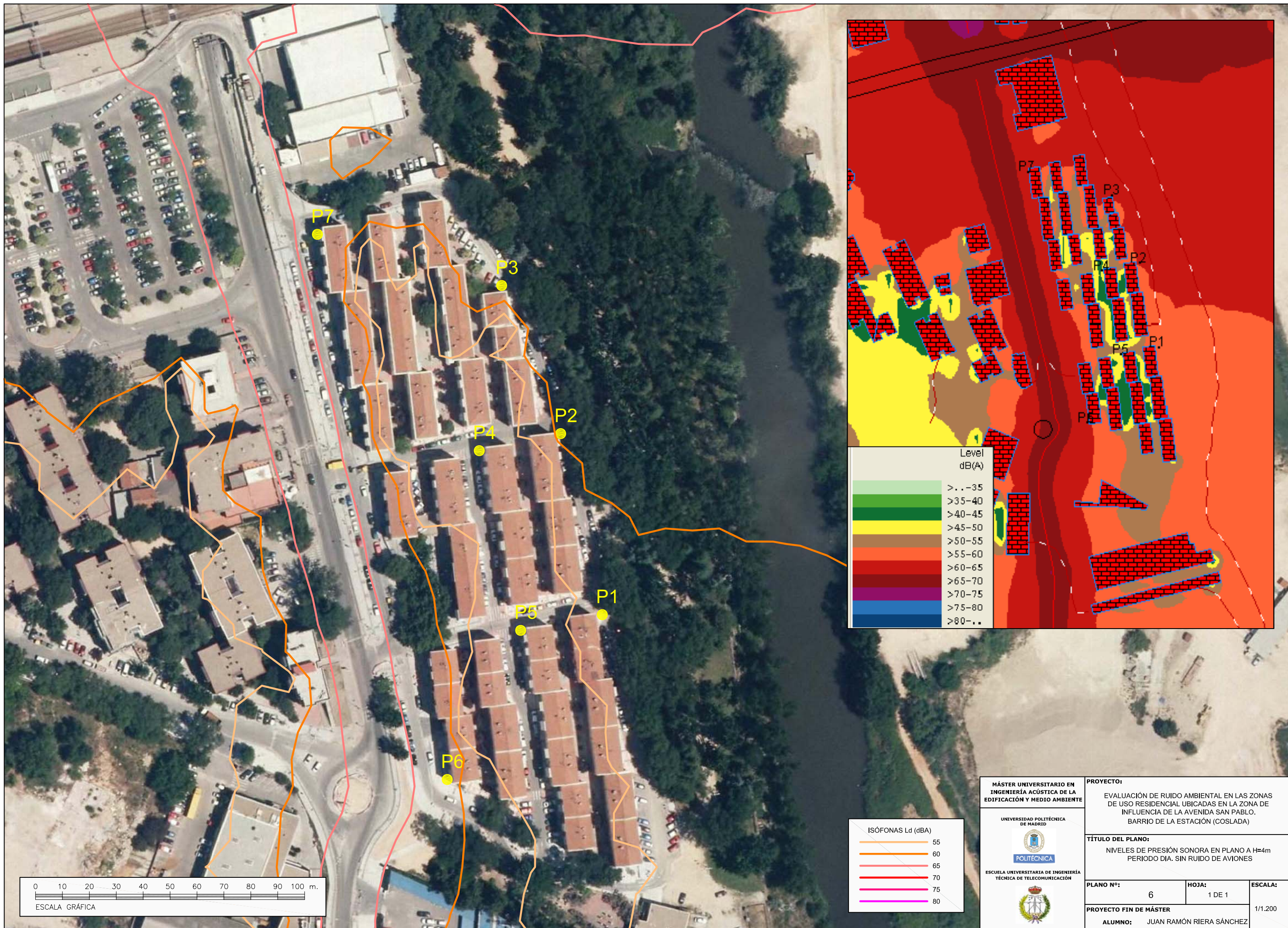
1 DE 1

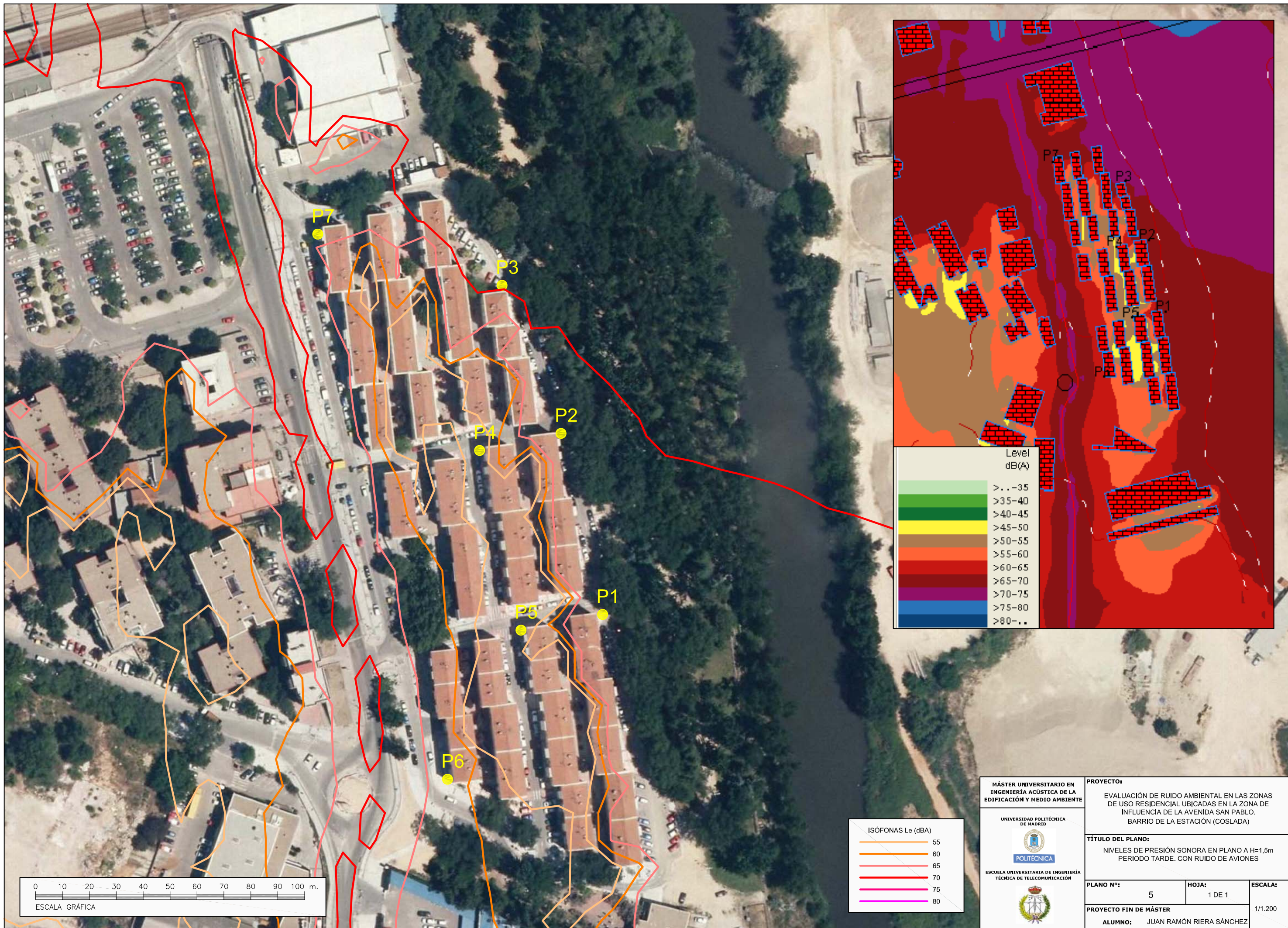
ESCALA:

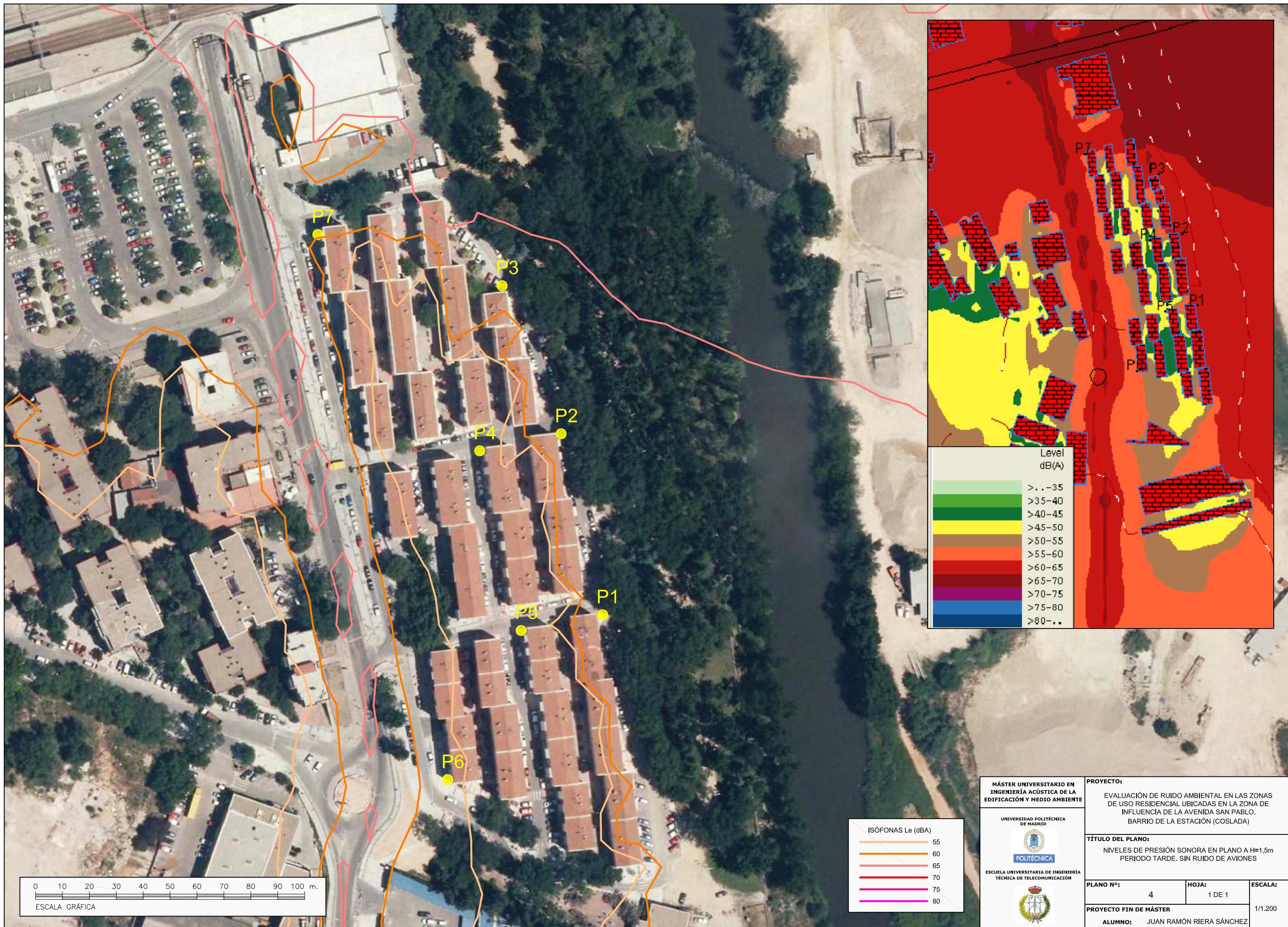
PROYECTO FIN DE MÁSTER

ALUMNO: JUAN RAMÓN RIERA SÁNCHEZ

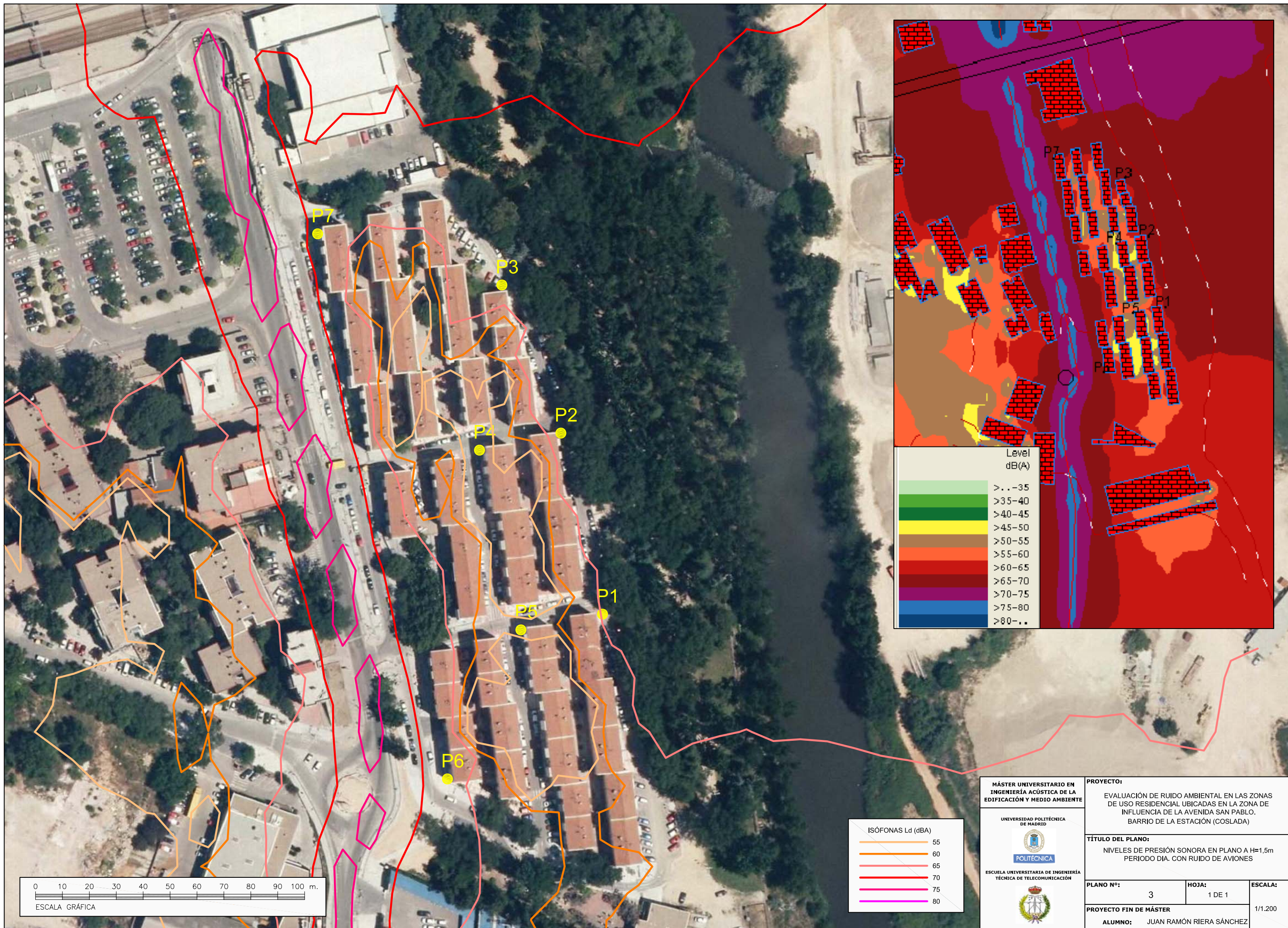
1/1.200

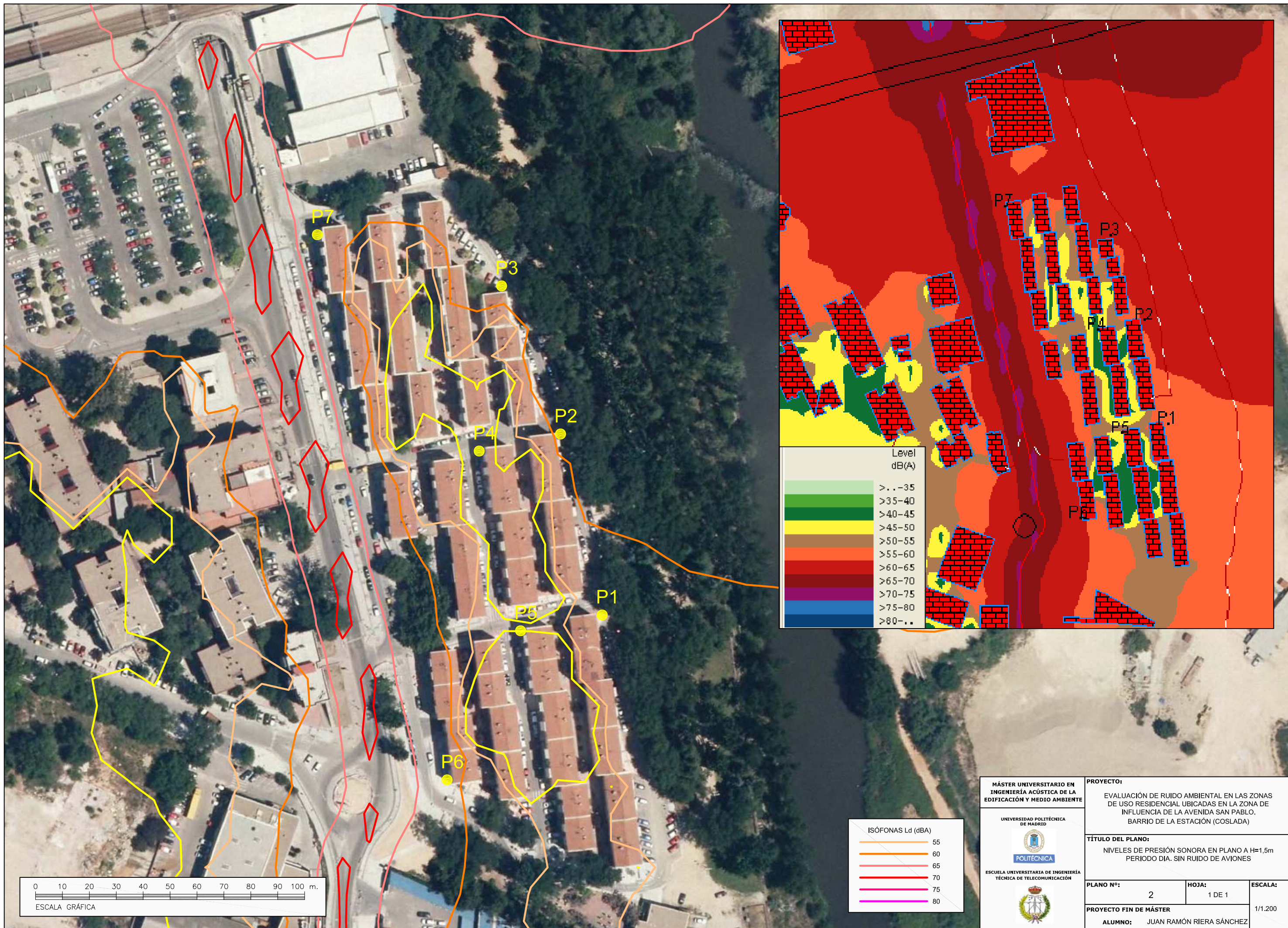






MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE		PROYECTO: EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL EN LAS ZONAS DE USO RESIDENCIAL UBICADAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA AVENIDA SAN PABLO. BARRIO DE LA ESTACIÓN (COSLADA)		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		TÍTULO DEL PLANO: NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN PLANO A H=1,5m PERIODO TARDE. SIN RUIDO DE AVIONES		
ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN		PLANO N°: 4	HOJA: 1 DE 1	ESCALA: 1/1.200
		PROYECTO FIN DE MÁSTER ALUMNO: JUAN RAMÓN RIERA SÁNCHEZ		





MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE		PROYECTO:	
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL EN LAS ZONAS DE USO RESIDENCIAL UBICADAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA AVENIDA SAN PABLO. BARRIO DE LA ESTACIÓN (COSLADA)	
		TÍTULO DEL PLANO:	
 ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN		NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN PLANO A H=1,5m PERIODO DÍA. SIN RUIDO DE AVIONES	
		PLANO N°:	HOJA:
		2	1 DE 1
		PROYECTO FIN DE MÁSTER	
		ALUMNO: JUAN RAMÓN RIERA SÁNCHEZ	
		ESCALA:	
		1/1.200	



ZONA DE ESTUDIO

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN Y MEDIO AMBIENTE		PROYECTO: EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL EN LAS ZONAS DE USO RESIDENCIAL UBICADAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA AVENIDA SAN PABLO. BARRIO DE LA ESTACIÓN (COSLADA)	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		TÍTULO DEL PLANO: PLANO DE SITUACIÓN . PUNTOS ESTRATÉGICOS DE MUESTREO	
ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN		PLANO N°: 1	HOJA: 1 DE 1
PROYECTO FIN DE MÁSTER		ESCALA: 1/3.000	
ALUMNO: JUAN RAMÓN RIERA SÁNCHEZ			